

2. НАУЧНЫЙ МЕТОД И ПРИНЦИПЫ ПОЗНАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Особенности и методы научного познания. Научный метод – основа науки. Принципы познания в естествознании: принцип причинности, принцип наблюдаемости, принципы отбора, принципы симметрии, принципы оптимальности, принцип соответствия, редукционизм, парадоксы как движущая сила науки, красота науки.

Знание – сила.
Ф. Бэкон

2.1. Особенности и методы научного познания

Мы познаем мир с помощью органов чувств – естественных физических приборов человеческого организма. Основную информацию об окружающем мире человек получает с помощью органов зрения (глаза). Но наши органы чувств могут обманывать нас. Не все существующие в мире звуки мы воспринимаем, достаточно субъективны наши вкусовые и тепловые ощущения, чувство боли.

Постепенно человек научился создавать приборы и системы для получения информации об окружающем мире, а знания стали более достоверными и глубокими. Научное знание в отличие от обыденного (житейского опыта, здравого смысла) характеризуется рядом специфических черт.

Во-первых, это не опыт отдельного человека и его мироощущение. *Наука – это суммарный опыт всего человечества* на всем историческом пути его развития.

Во-вторых, *научное знание* в отличие от обыденного имеет не простые формы (непосредственного отражения, ощущения и восприятия), а *сложные – специально выработанные формы выражения научной истины в виде научных понятий, принципов, методов и теорий*. Главная особенность научных знаний заключается в глубоком проникновении в суть явлений, в их теоретическом характере. Научное знание начинается тогда, когда за совокупностью фактов осознается *закономерность – общая, необходимая связь между ними*, что позволяет объяснить, почему данное явление протекает так, а не иначе, предсказать дальнейшее его развитие. Научное познание отличает стремление к *объективности*, т.е. к изучению мира таким, каким он есть вне и независимо от человека.

В-третьих, по своей природе научное знание не стихийно, а *строго организовано, упорядоченно, субординированно*.

В-четвертых, оно представляет собой *систему, принципиально проверяемую, основанную на фактах, истинную*.

В-пятых, это не только система готового знания, но и *система приобретения нового знания, т.е. система научных методов – системность знаний*.

Термин “*метод*” означает способ построения системы познания, совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности. Метод вооружает человека *системой принципов и правил*, которые позволяют достичь результатов наиболее рациональным путем. Владение методом означает для человека знание того, в какой последовательности совершать те или иные действия для решения какой-либо задачи, и **умение** применять эти знания на практике.

Среди множества используемых в науке методов, перечислим некоторые как наиболее важные:

- *анализ* – расчленение целостного предмета на составные части (стороны, признаки, свойства и отношения) для их всестороннего объяснения;
- *синтез* – соединение ранее выделенных частей предмета в единое целое;
- *абстрагирование* – это мысленное отвлечение от каких-то менее существенных в данных условиях свойств, сторон, признаков, отношений изучаемого объекта с одновременным выделением и формированием одной или нескольких наиболее существенных сторон, свойств или признаков и отношений этого объекта;
- *идеализация* представляет собой мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект в соответствии с целями исследований. В результате такого изменения могут быть исключены из рассмотрения какие-то свойства, стороны или признаки объекта. Хорошо известным примером идеализации является понятие материальной точки в механике – это объект, размерами которого пренебрегают. Реально в природе таких объектов не существует, но подобная абстракция позволяет заменить в исследовании самые различные реальные объекты: от атомов и молекул до планет и звезд;

- *обобщение* – прием мышления, в результате которого устанавливаются общие свойства и признаки объектов;
- *индукция* – метод исследования и способ рассуждения, в котором общий вывод строится на основе частных посылок;
- *дедукция* – способ рассуждения, посредством которого из общих посылок с необходимостью следует заключение частного характера;
- *аналогия* – прием познания, при котором на основе сходства объектов в одних признаках делают заключение об их сходстве в других признаках;
- *моделирование* – изучение объекта (оригинала) путем создания и исследования его копии (*модели*), замещающей оригинал с определенных сторон, интересующих исследователя. При моделировании широко используются абстрагирование, аналогии и обобщения. Среди многих методов моделирования отметим *математическое моделирование*, производимое средствами математики и логики. *Мысленный эксперимент* является одним из видов моделирования, широко используемых в науке.

Различают два уровня научного познания: **эмпирический** (опытный) и **теоретический**. *Эмпирический уровень познания* характеризуется непосредственным исследованием реально существующих, чувственно воспринимаемых объектов. На этом уровне происходит процесс накопления информации об исследуемом объекте путем наблюдения, выполнения разнообразных измерений и проведения экспериментов, а также производится первичная систематизация получаемых данных и, возможно, формулирование некоторых простых эмпирических закономерностей.

Теоретический уровень научного исследования осуществляется на *рациональной* (логической) ступени познания. Здесь строятся **научные теории**, которые являются основной формой научного знания. Это более высокая ступень в научном познании. Здесь широко используется метод научного абстрагирования и идеализации – переход к обобщенным представлениям и понятиям. В процессе абстрагирования происходит отход от чувственно воспринимаемых конкретных объектов к воспроизводимым в мышлении абстрактным представлениям о них. То, что получают в ре-

зультате, называют *абстракцией*, которая, очевидно, отличается от конкретного. Таким образом, как говорят философы, на теоретическом уровне осмысление представляет собой восхождение от чувственно-конкретного к абстрактному.

На этой основе также строятся **научные понятия**, которые в науке играют очень важную роль. *Понятия – это отражение предметов и явлений со стороны их существенных свойств и отношений*. Всякое познание человеком природы начинается с *ощущений*, которые связывают его с миром *явлений* и рождают *образы*. Явления и образы описываются с помощью *языка (слов)*. Одни и те же слова у разных людей рождают различные образы. Существуют слова или группы слов, которые не связаны непосредственно с образами, хотя и появились благодаря им. Это и есть *понятия*. Понятия обобщают коллективный опыт, но они лишены деталей, присущих конкретным образам, и поэтому пригодны для общения разных людей между собой. Но понятия не вполне однозначны, хотя бы потому, что у разных людей они вызывают различные образы. Даже в повседневной жизни это часто приводит к недоразумениям. В науке такое недопустимо, потому что ее результаты претендуют на объективный смысл, который не должен зависеть от непостоянства человеческих мнений. В науке почти каждому понятию ставят в соответствие формулу – набор символов и чисел, и задают правила действий над ними, чем достигается однозначность науки, позволяющая понимать друг друга ученым разных стран и поколений.

Понятия позволяют обобщать и выделять предметы по их общим признакам. *Процесс образования понятий связан с **огрублением действительности***, так как рассмотрение ведется только со стороны тех свойств и отношений, которые интересуют в данной теории, отвлекаясь от всех прочих. Поэтому их нельзя рассматривать как нечто *неизменное, заданное*. Время от времени они должны пересматриваться, углубляться адекватно познанию внешнего мира. *Научные понятия, составляющие логическую основу законов природы, не статичны, не абсолютны*. Отсюда следует, что законы природы нельзя абсолютизировать, а значит, **наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными**.

Таким образом, *объектами научного (теоретического) познания выступают не сами предметы и явления реального ми-*

*ра, а их своеобразные аналоги (модели) – некие идеализированные объекты. Поэтому **полученная картина природы не обязательно буквально совпадает с реально существующим миром.** Многие ученые ее считают всего лишь рабочей моделью.*

Например, наше представление о строении атома есть только модель – невидимый атом описывается с помощью макроскопических понятий. Мы не знаем, что в действительности представляет собой атом, но можем сказать, что он ведет себя "так-то и так-то", если на него подействовать "вот так". Даже современные методы исследования не позволяют увидеть атом. Получаемые с их помощью изображения интерпретируются также в рамках тех же моделей. Известный физик Р. Фейнман писал: "Раз поведение атомов так не похоже на наш обыденный опыт, то к нему очень трудно привыкнуть. И новичку в науке, и опытному физику – всем оно кажется туманным и своеобразным. Даже большие ученые не понимают его настолько, как им бы хотелось, потому что весь непосредственный опыт человека, вся его интуиция – все прилагается к крупным телам. Мы знаем, что будет с большим предметом; но именно так мельчайшие тельца не поступают. Поэтому, изучая их, приходится прибегать к различного рода абстракциям, напрягать воображение и не пытаться связывать их с нашим непосредственным опытом" (Фейнман, 1987).

Основная задача научного знания – обнаружение *объективных законов действительности* – природных, социальных (общественных), законов самого мышления и т.д. Отсюда ориентация исследования направлена, главным образом, на общие, существенные свойства предмета или явления, их необходимые характеристики и их выражение в системе *абстракций*. Если этого нет, то нет и науки, так как само понятие научности предполагает открытие законов, углубление в сущность изучаемых явлений.

Непосредственная цель и высшая ценность научного познания – это **объективная истина**, которая достигается преимущественно *рациональными средствами и методами*. Поэтому **научные знания имеют рациональный характер**. *Истина* есть правильное, адекватное отражение предметов и явлений действительности познающим субъектом, воспроизведение их такими, какими они существуют вне и независимо от сознания. Она объективна по содержанию, но субъективна по форме – как результат человеческого мышления. Поэтому говорят об *относительной ис-*

тине как отражающей предмет не полностью, а в объективно обусловленных пределах. Абсолютная истина полностью исчерпывает предмет познания. Всякая *относительная истина содержит элемент абсолютного знания. Абсолютная истина складывается из суммы относительных.*

Характерная черта научного познания – *объективность*. Научное познание ориентировано на то, чтобы в конечном счете быть воплощенным в практике. Смысл научного изыскания можно выразить простой формулой: “Знать, чтобы предвидеть, предвидеть, чтобы практически действовать” – не только в настоящем, но и в будущем. Научное познание есть сложный противоречивый процесс воспроизводства знаний, образующих целостную развивающуюся систему понятий, теорий, гипотез, законов и других идеальных форм, закрепленных в языке – естественном или искусственном (математическая символика, химические формулы и т.п.). В процессе познания применяются и такие специфические материальные средства, как приборы и инструменты и другое научное оборудование, зачастую очень сложное и дорогостоящее. Кроме того, для науки характерно использование и таких средств, как современная логика, диалектика, системный анализ и другие общенаучные приемы.

Научному познанию присущи *строгая доказательность, обоснованность результатов и достоверность выводов*. Но вместе с тем здесь немало гипотез, догадок, предположений и т.п. Поэтому важное значение имеют методологическая подготовка, философская культура и многое другое.

2.2. Научный метод – основа науки

Наука ищет пути всегда одним способом. Она разлагает сложную задачу на более простые, затем, оставляя в стороне сложные задачи, разрешает более простые и тогда возвращается к оставленной сложной.

В. Вернадский

Развитие науки имеет свои законы. Из наблюдения окружающего мира рождается предположение о природе и связях процессов и явлений; из фактов и правдоподобных предположений строится теория; теория проверяется экспериментом и, подтвердившись, продолжает развиваться, снова проверяясь бесчисленное множе-

ство раз. Такой ход развития и составляет сущность *научного метода*; он позволяет отличить заблуждение от научной истины, проверить предположения, избежать ошибок. При этом необходимо всегда помнить, что *эксперимент – верховный судья теории (критерий истины)*.

Научный метод познания реальности зародился в начале XVII в., и на нем, как на прочном фундаменте, основываются с тех пор все опытные науки. Сведения о природе мы получаем сначала путем *индукции*, извлекая общие законы из экспериментальных данных. Затем, считая наш закон верным, мы предполагаем, что природа будет вести себя согласно этому закону, считая, что природа единообразна. *Дедуктивная теория* дает нам значительно больше. Прибегая к ней, мы начинаем с допущений и законов, получая их либо на основе догадки, либо в результате эксперимента, либо по аналогии или путем умозрительных рассуждений, а затем делаем новые предсказания. Эти предсказания и выводы необходимо проверять экспериментально. Используемые предположения должны быть основаны на теории и прошедших проверке фактах. О теории судят не по тому, насколько она "правильна", а по тому, насколько она **полезна**, т.е. *какие эксперименты она подсказывает и на какие мысли наводит*.

Можно сформулировать некоторые общие правила, лежащие в основе исследовательского процесса и составляющие сущность научного метода для получения нового знания. **Научный метод** – это такая *процедура получения научного знания, которая позволяет его воспроизвести, проверить и передать другим; это способ организации средств познания для достижения научной истины; это система регулятивных принципов познавательной деятельности*. Подчеркивая важность научного метода, Ф. Бэкон говорил, что этот метод подобен фонарю, освещающему дорогу бредущему. Даже хромой, идущий по дороге, опережает того, кто бежит без дороги.

Сущность научного метода состоит в следующем:

- производить наблюдения и извлекать из них общие правила или законы;
- формулировать гипотезу; выводить следствия из гипотезы и уже известных законов;
- производить эксперименты для проверки этих следствий –

критерий истины;

- если эксперимент подтверждает гипотезу, ее принимают на вооружение как истинный закон и затем предлагают и проверяют новые гипотезы. В противном случае гипотеза отбрасывается и предлагается другая.

Таким образом, наука строится из наблюдений, экспериментов, гипотез, теорий и аргументации (объяснения). Научный метод начинается с проведения границ *достоверного и невозможного*. Сделать это позволяет *стабильность достижений науки*. Что это значит? Хорошо проверенные законы и соотношения остаются неизменными и после нового открытия или научной революции. Например, теория относительности, перевернувшая привычные представления о пространстве и времени, практически не изменила хорошо известных законов механики и электродинамики тел, движущихся с обычными скоростями. В науке существует *принцип соответствия*, согласно которому новая теория должна переходить в старую в тех условиях, для которых эта старая была установлена. Зная, что хорошо проверенные законы неизменны, можно отличить явления, не вызывающие сомнений, от тех, что противоречат опыту. Между ними окажется область неизученного, но *возможного* – здесь и сосредоточены интересы науки. В области достоверного окажется все, что не может быть опровергнуто при любом повороте в развитии науки. Наука оберегает свои завоевания, она лишь переосмысливает старое, не отвергая, а вбирая его в себя.

Следующий шаг состоит в том, чтобы отделить даже самую красивую и правдоподобную догадку от доказанного утверждения. Правило **"во всем сомневаться и все проверять"**, доведенное когда-то скептиками до абсурда, ученые взяли на вооружение, пользуясь им в разумных пределах. В науке ничего не принимается **на веру**. Таким образом, в основе научного метода лежит *объективность, воспроизводимость и непредвзятость*; он развивался, совершенствовался и был отобран как самый рациональный, и уже более трех веков им руководствуется наука.

А. Эйнштейн говорил, что научный метод дает средства для достижения цели, но сам по себе не есть цель – сам по себе научный метод никуда не приводит; он и не появился бы без стремления к истине. В действительности научное исследование не столь "логично" и не так просто. В ходе развития науки мы решаем пробле-

мы и накапливаем знания, используя разные методы. Иногда начинаем с догадки, иногда строим математическую модель, а затем проводим экспериментальную проверку и т.п. Однако необходимо помнить, что эксперимент всегда играет роль главного пробного камня независимо от того, с чего начали.

Научное познание (факты, гипотезы, теории, концепции) строится из перекрестного процесса исследований и рассуждений с различных точек зрения. Мы не движемся к открытию напрямик, не сворачивая с пути, а исследуем явления природы сначала в одном направлении, потом в другом; от одной догадки переходим к другой, которую, в свою очередь, подвергаем экспериментальной проверке и т.д. Со временем мы накапливаем новые понятия различными путями и проверяем их с разных точек зрения. Согласие между результатами, полученными разными методами исследования, дают **уверенность** в том, что достигнутые знания имеют надежную основу. Вся информация в науке основана на *наблюдениях и логических выводах*, из них вытекающих. Отсюда следует возможность ее **проверки** и **уточнения**. Наука ничего не принимает на веру. Ключевое правило науки – **проверять**.

В настоящее время наши знания представляют обширную систему понятий, которым мы *доверяем*, так как она *удовлетворяет нашим представлениям* о ней, составленным на основании самых разных точек зрения.

Лучшая теория та, которая наиболее плодотворна, экономична, доступна и приносит наибольшее удовлетворение. Она должна иметь минимальное число допущений общего характера, но при этом связывать большое число разнообразных фактов. При создании теории начинают с допущений и простых гипотез, тесно связанных с экспериментом; затем строят концепции более общего характера, которые управляют более простыми, и, наконец, стараются вывести всю картину природы в целом из нескольких общих положений. В философии существует методологический принцип, известный как *брита или лезвие "Оккама"*: разумнее считать **непонятное пока непонятным**, чем изобретать непроверяемые гипотезы (*не умножай сущностей без надобностей*). Другими словами, то объяснение явления ближе к истине, которое основывается на меньшем числе гипотез. Наилучшим можно считать объяснение как можно более широкого круга явлений с помощью как можно меньшего числа гипотез. Этот принцип и сегодня ле-

жит в основе современного научного мышления.

Качество теории оценивается также *по чувству интеллектуального удовлетворения*, которое она дает, *чувству уверенности* в наших знаниях и *чувству удовольствия* от того, что мы можем их выразить в логичной и компактной форме. Создание таких теорий, которые давали бы нам чувство удовлетворения и уверенности в наших знаниях, – это настоящее искусство; это и есть то, что называется познанием природы.

Научный метод преобразовал мир, в котором мы живем. На основе достигнутых успехов укрепилась вера в науку. Очевидно, что человечество ускоряет свое развитие с помощью наук. Мы настолько привыкли отождествлять понятие "наука" и "знания", что, по сути дела, не мыслим себе иного знания, кроме научного. Но не следует переоценивать роль науки.

Человек постепенно начинает осознавать, что у *научного метода есть свои издержки, область действия и границы применимости*. Одну из таких границ очерчивает наш *опыт*, который является *ограниченным*. Однако основания науки не имеют *абсолютного характера* и, в принципе, могут быть поколеблены. Другой барьер на пути к всемогуществу науки возвела *природа человека*. Дело в том, что человек – существо макромира. И средства, используемые учеными в научном поиске (приборы, язык описания и прочее), – того же масштаба. Наши макропредставления не подходят к микромиру, так как никаких прямых аналогов привычным нам вещам там нет. Поэтому *сформировать макроскопический образ, полностью адекватный микромиру, практически невозможно*. В итоге наш познавательный аппарат при переходе к областям реальности, далеким от повседневного опыта, теряет свою адекватность. Правда, ученые нашли выход в использовании языка абстрактных обозначений и математики. Но сложность ситуации заключается в том, что логика и математика родом из привычного нам макромира. Пока это все работает, но как будет дальше – неизвестно.

В эволюционной теории познания существует точка зрения, что математические способности человека принципиально ограничены, так как имеют биологическую основу и, следовательно, не могут полностью содержать все структуры, существующие в действительности. Поэтому должны существовать и пределы математического описания природы. Все это и говорит *об ограниченности научного метода*. Тем не менее мы верим в науку, поскольку

она позволяет нам правильно предсказывать явления природы и не зависит от произвола познающей личности. Можно сомневаться в структуре ее образов, зависящих от способа мышления, но практически нет сомнений, что **законы природы одинаковы во всей Вселенной**.

Наука и научный метод полезны и необходимы, но они не являются всемогущими. Границы научного метода пока еще размыты и неопределенны. Но, по-видимому, они существуют. Последнее означает признание факта, что *реальный мир гораздо богаче и сложнее, чем его образ, который создается наукой*.

2.3. Принципы познания в естествознании

Принцип (от латинского “принципус”) – основа, первоначало; это центральное понятие, основание системы, обобщение и распространение какого-либо положения на все явления данной области, из которой принцип абстрагирован (выведен). Принципы формулируются в системе понятий, которые вырабатываются в практической деятельности цивилизаций и во многом определяются конкретными условиями.

А. Эйнштейн говорил, что основные фундаментальные идеи науки, в сущности, достаточно просты, их может понять каждый, но чтобы увидеть все следствия, вытекающие из общей идеи, нужно владеть утонченной техникой исследования. В естественных науках существуют специальные правила или принципы, которые позволяют избегать ошибок и гораздо быстрее приходиться к намеченной цели. К числу таких правил относят: **принцип причинности**, проверяемый на опыте; **принцип наблюдаемости**, сыгравший огромную роль в становлении физики XX в.; **принцип соответствия**, который отражает преемственность науки; **принципы симметрии**, отражающие красоту природы; **принципы оптимальности**, **принципы** или **правила отбора** и др. Развитие науки стимулируют **парадоксы**, т.е. противоречия каких-то фактов привычным представлениям. Наконец, не менее важным является требование **красоты научной теории**.

2.3.1. Принцип причинности

*Пора чудес прошла, и нам
Подыскивать приходится причины
Всему, что совершается на свете.*
В. Шекспир

Причинность есть определенная форма упорядочения явлений, процессов и событий в пространстве и времени, связь между отдельными состояниями видов и форм материи в процессе ее движения. Эта упорядоченность накладывает свои ограничения на все, что происходит в мире. *Причина* – это то, что приводит к изменениям, а *следствие* – изменения, которые возникают при наличии причины, т.е. следствие *порождается* причиной. Причина и следствие могут *переходить друг в друга, меняться местами*, т.е. являются *относительными*. Они существуют в *единстве* и *связаны необходимым образом* – если имеется причина, то всегда должно быть следствие и наоборот. По времени причина всегда предшествует следствию или следствие возникает позже причины. История науки учит *не доверять привычному, сомневаться и проверять на опыте*.

Концепция причинной зависимости явлений природы – основа естествознания. Причинные связи носят объективный характер. Причинно-следственные связи – это цепочка: причина – явление – следствие. На принципе причинности основано научное познание действительности и организована вся материально-практическая деятельность человека. Человек не только наблюдает определенную регулярность, повторяемость, временную последовательность возникновения тех или иных явлений, но и активно воздействует на природу, целенаправленно изменяет ее, создает соответствующие условия, заставляет материальные образования взаимодействовать друг с другом и производить определенные изменения и таким образом вызывает к жизни новые явления. *Суть принципа причинности состоит в признании причинной обусловленности любого явления и необходимой связи причины и следствия*. Причинность – это одна из форм выражения *детерминизма* – учения о всеобщей закономерной связи природных, социальных и психических явлений. Сущность детерминизма состоит в том, что *все существующее в мире возникает и уничтожается закономерно, в результате действия определенных причин*.

Явления природы следуют закону причинности. Другими сло-

вами, *все явления природы обусловлены*, однако не все связи и отношения выступают одинаково: одни из них **неизбежны**, другие **случайны**. Поэтому причинность может проявляться в зависимости от свойств изучаемого объекта. *В макроскопических процессах причинность* может выражаться в форме **однозначных динамических закономерностей**, в **микром мире** – через **статистические (вероятностные) закономерности**.

В физике, как правило, причинность проявляется в виде закона, с помощью которого можно установить последовательность событий во времени. На языке формул этот закон часто имеет вид дифференциального уравнения. Например, в классической механике это уравнения движения Ньютона, которые позволяют предсказать траекторию движения частицы в любой момент времени, если известны начальные координата и скорость. Данная схема объяснения и предсказания явлений природы составила идеал причинного описания явлений, к которому стремились и в других науках. Однако такое описание не стало универсальным. Например, такой причинности нет в микром мире. Здесь понятие причинности пришлось расширить, его называют **квантово-механической причинностью**. Своеобразие квантово-механической причинности состоит в том, что даже при неизменных условиях она может лишь давать вероятность исхода отдельного испытания, но зато достоверно предсказывает распределение исходов при большом числе однотипных испытаний. Кроме того, принцип причинности в физике требует исключить влияние какого-либо события на все прошедшие события и влияние друг на друга одновременных событий, которые произошли на таком расстоянии, что они не могут быть связаны каким-либо сигналом, даже световым.

Причинность строго проверена на опыте, что подчеркивает важность этого принципа для науки, потому что утверждение считается научным, если его можно *подтвердить* или *опровергнуть*. То, что не подлежит проверке, хотя бы мысленной, лежит вне науки.

2.3.2. Принцип наблюдаемости

Наш язык мудр: между выражениями "я убежден" и "я убедился" - большая разница.

К. Чапек

Принцип наблюдаемости требует, чтобы в науку вводились

не умозраительные, а *наблюдаемые* величины. Считается, что в науку опасно вводить умозраительные понятия, основанные только на повседневном опыте. Еще Г. Галилей призывал меньше доверять чувствам, которые легко могут нас обмануть, а стараться, рассуждая, подтвердить предположение или разоблачить его обманчивость.

Наблюдаемым считается объект, который поддается измерению. Наблюдаемость, таким образом, сводится к измеряемости. В физике требование наблюдаемости вводимых понятий утвердилось лишь на рубеже XIX и XX вв. Например, еще в конце XIX в. А. Пуанкаре подчеркивал необходимость введения понятия времени, которое было бы основано на эксперименте. В 1905 г. А. Эйнштейн проанализировал понятие *одновременности*. Его интересовало, как проверить одновременность, абсолютна она или относительна, изменяется ли она в движущейся системе координат или нет. Оказалось, что одновременность относительна, а не абсолютна, как считалось до этого. Такой вывод был сделан в результате последовательно примененного принципа наблюдаемости.

Огромную роль принципа наблюдаемости сыграл и при анализе физического смысла квантовой теории. По этому поводу П. Дирак писал, что наука имеет дело *только* с наблюдаемыми величинами, и мы можем наблюдать объект только в том случае, если дадим ему провзаимодействовать с чем-то внешним по отношению к нему. На наблюдаемость проверили координаты и скорость микрочастицы, и оказалось, что они одновременно не могут быть определены в принципе. В. Гейзенберг выдвинул идею, согласно которой *не нужно говорить о том, что все равно нельзя измерить*. Суть этой идеи можно интерпретировать следующим образом: любые теоретические построения или понятия должны быть такими, чтобы выводы из них (или следствия) можно было бы сравнивать с результатами опыта.

Таким образом, существует точка зрения, что любое используемое в науке понятие имеет смысл лишь тогда, когда ему можно сопоставить некоторую измерительную процедуру, т.е. измерить. Все объяснения природы, которые являются результатом научной деятельности, основаны на наблюдениях за поведением измеряемых параметров. Этот подход называют *операционной точкой зрения* или *операционализмом*. При таком подходе проще и удобнее анализировать результаты исследований, устанавливать науч-

ную строгость и точность исходных предположений и выводов. Операционное определение дать достаточно просто: надо только объяснить, как эта величина может быть измерена и какие способы измерения в каких условиях выбирать. С этой точки зрения объектом исследования физики является то, что можно зарегистрировать физическими приборами. Мышление или эмоции не могут быть (пока?) зарегистрированы приборами, и поэтому к объектам физики не относятся.

Но с таким подходом согласны не все исследователи. Дело в том, что в физике имеются не только понятия, допускающие непосредственную эмпирическую интерпретацию, но и абстрактные теоретические конструкции, непосредственно не связанные с опытом. Р. Фейнман считал, что науку можно создавать не только из тех понятий, которые непосредственно связаны с опытом. Он говорил, что в теории можно использовать все что угодно при условии, что *ее следствия* можно будет сравнить с экспериментом. Идея или понятие, которые невозможно прямо связать с опытом или измерить, могут быть полезными, а могут быть бесполезными. О них можно сказать, что они не обязаны присутствовать в теории.

Ценность теории – в ее способности предвидеть, т.е. сообщать, что случится в опыте, который прежде никогда не ставился. Это делается примерно так. Сначала полагают, что независимо от опыта известно, что произойдет в результате его постановки. Затем экстраполируют опыт, распространяя его в область, в которой он не ставился, т.е. расширяют представления до пределов, в которых они никогда не проверялись. Если этого не сделано, то никакого предсказания нет. Единственный способ обнаружить, в чем мы ошибаемся, это понять, в чем состоят наши предсказания. Так что без умственных построений не обойтись. В связи с этим А. Эйнштейн говорил, что только теория может установить, что можно наблюдать, а что нельзя, и поэтому надо разрешать теоретику фантазировать, так как иной дороги к идеям нет. Но при этом опыт всегда остается единственным судьей математического построения в физике.

2.3.3. Принципы отбора

В мире действуют **принципы отбора** – законы, выделяющие из возможных (виртуальных) состояний определенное множество допустимых, которые и проявляются в природе. Другими

словами, все, что происходит в природе, не представляет собой абсолютного произвола или не все мыслимое реализуется в природе.

В мире неживой природы – это *законы физики и химии*. Физические законы считаются неизменными, поскольку характерное время их изменения лежит за пределами нашего возможного наблюдения. Человек способен уточнять их формулировки, используя эмпирические данные, но лишь до той степени, пока вмешательство исследователя не превращает его из наблюдателя в участника событий, как это имеет место при изучении явлений микромира.

Эти законы остаются справедливыми и на уровне живого вещества. Но здесь к ним добавляются и свои. Например, стремление сохранить *гомеостаз*, т.е. относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды, устойчивость основных физиологических функций организма; *дарвиновские законы эволюции* – дарвиновская триада: изменчивость, наследственность и естественный отбор.

На уровне общественной организации общественные законы не могут нарушить законы, определяющие процессы, протекающие в живом и неживом веществе, но и не исчерпываются ими. Обществу свойственны свои новые принципы отбора, связанные с *целенаправленной* деятельностью людей. Эти новые принципы отбора, возникающие в мире по мере усложнения организации, постепенно становятся менее жесткими, приобретая характер *тенденций*. Например, закон сохранения энергии никогда не может быть нарушен, тогда как сохранение гомеостаза – всего лишь *тенденция*.

Еще более размыт смысл принципов отбора на уровне общественной организации, где они во многом связаны с представлением о ценностях, которые возникают в сознании человека. Последнее является одной из причин неоднозначности развития и многообразия его путей.

К числу важнейших принципов отбора относят *законы сохранения*. Законы сохранения в физике считаются наиболее общими законами природы. Они говорят нам о тех величинах, которые сохраняются при различных взаимодействиях и превращениях. Число известных нам законов сохранения изменяется с развитием физики. По мере расширения круга явлений, доступных исследователю, отбрасываются некоторые старые законы сохранения и формулируются новые. Наиболее известные **законы сохранения** –

энергии, импульса и электрического заряда.

Многочисленные факты убеждают, что **закон сохранения энергии** – один из *всеобщих законов природы*. Он лежит в основе физики и всего естествознания в целом. Согласно этому закону в *замкнутой системе энергия не может исчезать или рождаться: она может лишь переходить из одной формы в другую*, например, из механической в тепловую, из тепловой в химическую и т.п. Если вычислить и сложить значения, соответствующие разным видам энергии, то для замкнутой системы полученная сумма всегда будет одинаковой – ее и называют *полной энергией*. По сути дела это абстрактное, чисто математическое правило: полная энергия есть число, которое не меняется, когда бы вы его ни подсчитывали.

Существует много разных видов (форм) энергии: кинетическая, потенциальная, тепловая, электрическая и световая или электромагнитная, энергия упругости в пружинах, ядерная энергия, энергия покоя тела $E = mc^2$ (здесь m – масса, c – скорость света). Тепловая энергия – это всего лишь кинетическая энергия движения частиц в теле. Упругая и химическая энергии имеют одинаковое происхождение, так как обусловлены одними и теми же силами взаимодействия между атомами. Когда атомы перестраиваются в другом порядке, меняются и эти энергии. Например, если что-то сжигается, то меняется химическая энергия, при этом возникает теплота там, где ее раньше не было. Но сумма тепловой и химической энергий должна остаться прежней. Упругая и химическая энергии связаны с взаимодействием атомов, которые являются комбинацией электрической и кинетической энергий. Световая энергия – это электромагнитная энергия, поскольку свет есть электромагнитная волна. Ядерная энергия не выражается через другие виды энергий – она обусловлена действием ядерных сил.

Закон сохранения энергии очень полезен в методическом отношении. Зная его и формулы для вычисления энергии, можно понять другие законы. Он позволяет предсказывать новые явления. С помощью закона сохранения энергии можно подсчитать энергию, освобождающуюся при превращениях частиц, или вычислить энергию, необходимую для образования новых частиц. Закон сохранения энергии имеет **абсолютный характер**, т.е. нарушение его до сих пор не наблюдалось.

Другой важный закон сохранения – **закон сохранения им-**

пульса. В классической механике импульс определяется как $\vec{p} = m\vec{v}$, где m – масса тела, \vec{v} – скорость. *В отсутствие внешних сил полный импульс всех частиц постоянен* – таково содержание закона сохранения импульса. При больших скоростях выражение для импульса усложняется, но закон сохранения импульса остается. Импульс более фундаментальная физическая величина, чем скорость, поскольку существует закон сохранения импульса, но нет закона сохранения скорости.

Закон сохранения электрического заряда можно сформулировать так: *в замкнутой системе полный электрический заряд всех ее частиц остается постоянным при любых изменениях в ней.* Если заряд теряется в одном месте, то он возникает в другом. *Электрический заряд не может рождаться или уничтожаться* – во всех явлениях сохраняется алгебраическая сумма зарядов. Поэтому одна нейтральная частица никогда не может превратиться в одну заряженную, даже если это превращение не противоречит всем остальным законам сохранения. Закон сохранения электрического заряда также относится ко всеобщим законам природы.

Существуют и другие законы сохранения, которые все вместе позволяют отобрать из всех мыслимых взаимодействий те, которые возможны в природе. Согласие с законами сохранения еще не означает, что интересующее нас явление или процесс происходят. Но если соответствующие законы сохранения нарушаются, то такой процесс или явление происходить не могут. В этом смысле некоторые законы сохранения рассматривают как **принципы отбора** или **запрета**, которые *ограничивают* наше вмешательство в природу в процессе ее преобразования. Подчеркнем, что все физические законы подчинены одним и тем же законам сохранения, которые составляют фундамент современной физики и всего естествознания.

Среди других правил отбора особенно необходимо выделить **второй закон термодинамики** или **закон неубывания энтропии**, который устанавливает *неравнозначность взаимного превращения тепла и работы.* Хорошо известно, что работа может полностью превращаться в тепло, но тепло полностью превратить в работу **принципиально** невозможно. Последнее означает, что при взаимопревращениях одних видов энергии в другие существует *выделенная самой природой направленность*, т.е. теплота

не может самопроизвольно переходить от холодного тела к более горячему. Именно эту *однонаправленность перераспределения энергии* и отражает второе начало термодинамики.

Второй закон термодинамики часто интерпретируют как *закон постепенной деградации, разрушения организации и неизбежного утверждения хаоса*. Как и закон сохранения энергии, второй закон термодинамики имеет **абсолютный** характер – не известно ни одного примера его нарушения. Все замкнутые системы обречены, как говорят, на тепловую смерть – на выравнивание температуры внутри системы. Поэтому если Вселенная замкнута, то ее ждет такая незавидная участь. Кроме того, мы не можем использовать огромные запасы энергии, которые находятся вокруг нас. Если бы можно было понизить температуру воды на долю градуса, то этой энергии хватило бы человечеству на много лет. Но это сделать принципиально нельзя, так же как и построить вечный двигатель.

Мировоззренческое значение таких открытий велико. Эти законы ограничивают возможности человека – **их невозможно преодолеть**. Никакой процесс не может идти вопреки, например, закону сохранения энергии или второму закону термодинамики. Тем самым природа сама ограничивает деятельность человека жесткими рамками своих законов, среди которых *закон сохранения энергии и неубывания энтропии* занимают особое место. Вторым законом термодинамики не является следствием каких-либо других законов сохранения – это новое и самостоятельное правило отбора, которое не сводится к другим изначальным принципам отбора. Его действие является одной из важнейших особенностей нашего мира и имеет много разных следствий. Но необходимо помнить, что он справедлив только для замкнутых или изолированных систем. Рассмотренные принципы отбора позволили сделать вывод о невозможности создания вечного двигателя.

2.3.4. Принципы симметрии

Симметрия является той идеей, посредством которой человек на протяжении веков пытался постичь и создать порядок, красоту и совершенство.

Г. Вейль

Термин “**симметрия**” в переводе с греческого означает *соразмерность, пропорциональность, одинаковость в расположении частей*. Античные философы считали симметрию, порядок и определенность сущностью прекрасного. “Краткий Оксфордский словарь” определяет симметрию как *красоту*, обусловленную пропорциональностью частей тела или любого целого, равновесием, подобием, гармонией, согласованностью. Однако оно не охватывает всей глубины и широты данного понятия.

С симметрией мы встречаемся везде – в природе, технике, науке, искусстве. Она существует не только в макромире, но и присуща микро- и мегамиру. Симметрия, понимаемая в самом широком смысле, противостоит хаосу, беспорядку, она наблюдается везде, где есть хоть какая-то упорядоченность. В этом смысле симметричны не только объекты природы (снежинки, листья, рыбы, насекомые, человеческое тело и т.д.), но и такие упорядоченные явления, как регулярная смена дня и ночи, времен года, круговорот воды и других веществ в природе и др. Идею симметрии можно выразить и такими словами, как *уравновешенность, гармония, совершенство*.

Для человека симметрия обладает притягательной силой. Нам нравится смотреть на проявление симметрии в природе: симметричные кристаллы, снежинки, цветы, которые почти симметричны. Архитекторы, художники, поэты и музыканты с древнейших времен знали законы симметрии. Строго симметрично строятся геометрические орнаменты; в классической архитектуре господствуют прямые линии, углы, круги, равенство колонн, окон, арок и сводов. Конечно, симметрия в искусстве не буквальная. Законы симметрии художественного произведения подразумевают не однообразие форм, а глубокую согласованность элементов.

Понятие симметрии проходит через всю многовековую историю человеческого творчества. Законы природы, управляющие бесконечным многообразием картины явлений, также подчиняются сим-

метрии. Симметрию можно обнаружить практически всюду, если знать, где и как ее искать. Все разнообразие окружающего нас мира подчинено удивительным проявлениям симметрии. Об этом очень удачно написал Дж. Ньюмен: “Симметрия устанавливает забавное и удивительное сродство между предметами, явлениями и творениями, внешне, казалось бы, ничем не связанными: земным магнетизмом, женской вуалью, поляризованным светом, естественным отбором, теорией групп, инвариантами и преобразованиями, рабочими привычками пчел в улье, строением пространства, рисунками ваз, квантовой механикой, лепестками цветов, интерференционной картиной рентгеновских лучей, делением клеток, равновесными конфигурациями кристаллов, снежинками, музыкой, теорией относительности...” (Цит. по кн.: Тарасов Л.В. Этот удивительно симметричный мир, 1982.)

Строгое математическое представление о симметрии сформировалось сравнительно недавно – в XIX в. Современный подход к симметрии предполагает неизменность объекта по отношению к каким-нибудь выполняемым над ним операциям или преобразованиям. Современное определение симметрии формулируется так: *симметричным называется объект (предмет), который можно как-то изменять, получая в результате объект, совпадающий с первоначальным.* Согласно определению, прежде всего должен существовать объект – носитель симметрии. Для разных проявлений симметрии он, конечно, разный. Это материальные предметы или свойства. У объектов должны существовать некоторые *признаки – свойства, процессы, отношения, явления, которые не изменяются при операциях симметрии.* Также должны происходить изменения этих объектов, но не какие угодно, а только такие, которые переводят его в *тождественный* самому себе. И, наконец, должно существовать свойство объекта, которое при этом не изменяется, т.е. остается *инвариантным.*

Подчеркнем, что инвариантность существует не сама по себе, не вообще, а лишь по отношению к определенным преобразованиям, а изменения (преобразования) представляют интерес постольку, поскольку что-то при этом сохраняется. Другими словами, без изменения не имеет смысла рассматривать сохранение, равно как без сохранения исчезает интерес к изменениям. Таким образом, *симметрия выражает сохранение чего-то при каких-то изменениях или сохранение чего-то несмотря на изменение.* Сим-

метрия предполагает неизменность не только самого объекта, но и каких-либо его свойств по отношению к преобразованиям, выполненным над объектом.

Неизменность тех или иных объектов может наблюдаться по отношению к разнообразным операциям – к поворотам, переносам, взаимной замене частей, отражениям и т.д. В связи с этим выделяют разные типы симметрии.

ПОВОРОТНАЯ СИММЕТРИЯ. Говорят, что объект обладает поворотной симметрией, если он совмещается сам с собой при повороте на угол $2\pi/n$, где n может равняться 2, 3, 4 и т.д. до бесконечности. Ось симметрии называется *осью n -го порядка*.

ПЕРЕНОСНАЯ (ТРАНСЛЯЦИОННАЯ) СИММЕТРИЯ. О такой симметрии говорят тогда, когда при переносе фигуры вдоль прямой на какое-то расстояние a либо расстояние, кратное этой величине, она совмещается сама с собой. Прямая, вдоль которой производится перенос, называется *осью переноса*, а расстояние a – *элементарным переносом* или *периодом*. С данным типом симметрии связано понятие периодических структур или решеток, которые могут быть и плоскими, и пространственными.

ЗЕРКАЛЬНАЯ СИММЕТРИЯ. Зеркально симметричным считается объект, состоящий из двух половин, которые являются зеркальными двойниками по отношению друг к другу. Трехмерный объект преобразуется сам в себя при отражении в зеркальной плоскости, которую называют *плоскостью симметрии*.

СИММЕТРИИ ПОДОБИЯ представляют собой своеобразные аналоги предыдущих симметрий с той лишь разницей, что они связаны с одновременным уменьшением или увеличением подобных частей фигуры и расстояний между ними. Простейшим примером такой симметрии являются матрешки.

Иногда фигуры могут обладать разными типами симметрии. Например, поворотной и зеркальной симметрией обладают некоторые буквы: **Ж, Н, Ф, О, Х**.

Выше перечислены так называемые геометрические симметрии. Существует много других видов симметрий, имеющих абстрактный характер. Например, **ПЕРЕСТАНОВОЧНАЯ СИММЕТРИЯ**, которая состоит в том, что если тождественные частицы поменять местами, то никаких изменений не происходит; **НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ** – это тоже определенная симметрия.

КАЛИБРОВОЧНЫЕ СИММЕТРИИ связаны с изменением

масштаба. Например, известно, что при подъеме тела на некоторую высоту затраченная энергия зависит лишь от разности начальной и конечной высоты, но не зависит от абсолютной высоты. Говорят, что существует симметрия начала отсчета высот, ее и относят к классу калибровочных симметрий. Все фундаментальные взаимодействия имеют калибровочную природу и описываются калибровочными симметриями. Этот факт отражает единство всех фундаментальных взаимодействий. Калибровочная инвариантность позволяет ответить на вопрос: “Почему и зачем в природе существует такого рода взаимодействия?” Это обусловлено тем, что требование калибровочной инвариантности порождает конкретный вид взаимодействия. Поэтому форму взаимодействия уже не постулируют, а она выводится как результат калибровочной инвариантности.

На этом принципе строится единая теория всех физических взаимодействий. Интересно заметить, что этот принцип выходит далеко за рамки физики и может стать мощным *регулятивным принципом при решении проблем социального и экономического характера*. Думается, такие принципы, как социальная справедливость, равенство, устойчивый уровень жизни населения и другие, могут быть поставлены в соответствие с некоторой симметрией.

В неживой природе симметрия прежде всего возникает в таком явлении природы, как *кристаллы*, из которых состоят практически все твердые тела. Именно она и определяет их свойства. Самый очевидный пример красоты и совершенства кристаллов – это известная всем снежинка. Все снежинки, несмотря на разнообразие их форм, обладают зеркальной и поворотной симметрией 6-го порядка. Доказано, что все кристаллы могут обладать поворотной симметрией 2, 3, 4 и 6-го порядков. Симметрия кристалла связана с наличием *кристаллической решетки* – пространственной решетки из атомов. Отсюда видно, что симметрия ограничивает возможности вариантов структур.

Физические законы и явления также подчиняются законам симметрии. Р. Фейнман писал, что “все многообразие законов физики пронизано несколькими общими принципами, которые так или иначе содержатся в каждом законе. Примерами таких принципов могут служить некоторые свойства симметрии” (Фейнман, 1987).

Существует несколько **симметрий физических законов**:

1. Физические законы неизменны, инвариантны по отношению к *переносам в пространстве*, что обусловлено *однородностью пространства*. Это значит, что при переносе какого-либо устройства из одной точки пространства в другую его свойства, особенности функционирования и результаты опытов не изменятся.

2. Физические законы *инвариантны по отношению к поворотам в пространстве*. Это называют *изотропностью пространства*. Например, на север ли, на восток ли повернута установка, результаты опыта будут одни и те же.

3. Симметрия физических законов определяется и *однородностью времени*, т.е. они *инвариантны по отношению к переносам во времени*. Таким образом, однородность пространства и времени являются свойствами симметрии.

4. *Принцип относительности законов природы* – это тоже симметрия по отношению к переходу из одной инерциальной системы отсчета в другую. Эта симметрия устанавливает равнозначность всех инерциальных систем отсчета.

5. Никакие физические явления не изменяются при *перестановке двух идеально одинаковых частиц* (например, электронов или протонов) – *перестановочная симметрия*.

6. Еще один вид симметрии физических законов – *инвариантность по отношению к зеркальному отражению*. Это значит, что две физические установки, одна из которых построена как зеркальное отображение другой, будут функционировать одинаково. Отметим, что эта симметрия при определенных взаимодействиях нарушается.

Свойства симметрии относятся к числу самых фундаментальных свойств физических систем. Однако не все законы природы инвариантны к любым преобразованиям. Например, *геометрический принцип подобия не применим к физическим законам*. Еще Г. Галилей догадался, что законы природы несимметричны относительно изменения масштаба. Р. Фейнман приводит пример с моделью собора, который сложен из спичек. Если ее увеличить до натуральных размеров, то строение разрушится под собственной тяжестью. С точки зрения современной физики отсутствие симметрии физических законов относительно преобразования подобия объясняется тем, что порядок размеров атомов имеет абсолютное, одинаковое для всей Вселенной значение. Законы классической физики перестают работать в микромире, вместо них приходят

законы квантовой механики. Это уже проявление **асимметрии**, т.е. несимметрии.

Между симметрией и законами сохранения существует глубокая связь. В начале XX в. Э. Нётер сформулировала теорему, согласно которой если свойства системы не изменяются от какого-либо преобразования над ней, то этому соответствует некоторый закон сохранения — *теорема Нётер*. Поскольку независимость свойств от преобразования означает наличие в системе симметрии относительно данного преобразования, постольку теорема Нётер может быть сформулирована как утверждение о том, что наличие в системе симметрии обуславливает существование для нее сохраняющейся физической величины. Так, например, закон сохранения импульса есть следствие однородности пространства, а закон сохранения энергии – следствие однородности времени. Законы сохранения, действуя в самых различных областях и в различных конкретных ситуациях, выражают то общее для всех ситуаций, что в конечном счете связано с соответствующими принципами симметрии. Таким образом, *симметрия связана с сохранением* и выделяет в нашем изменчивом мире различные *инварианты* – некие своеобразные “опорные точки”. Можно сказать, что симметрия вносит порядок в наш мир. В окружающем нас мире “все течет, все изменяется,” он наполнен взаимодействиями и превращениями, всюду присутствует случайность и неопределенность. Но при этом *законы мира обнаруживают симметрию*: энергия сохраняется, за летом следует зима и т.п. *Симметрия выделяет общее как в объектах, так и в явлениях*, подчеркивая, что несмотря на то, что *мир многообразен*, но в то же время он и *един*, так как *в разнообразных явлениях природы присутствуют черты общности*.

В мире живой природы также проявляются все основные виды геометрических симметрий. Специфика строения растений и животных определяется особенностями среды обитания, к которой они приспособляются, особенностями их образа жизни. У любого дерева есть основание и вершина, “верх” и “низ”, выполняющие разные функции. Значимость различия верхней и нижней частей, а также направление силы тяжести определяют *вертикальную ориентацию* поворотной оси “древесного конуса” и плоскостей симметрии. Для листьев характерна зеркальная симметрия. Эта же симметрия встречается и у цветов, однако у них зеркальная

симметрия чаще выступает в сочетании с поворотной симметрией. Нередки случаи и переносной симметрии (веточки акации, рябины). Интересно, что в *цветочном мире наиболее распространена поворотная симметрия 5-го порядка, которая принципиально невозможна в периодических структурах неживой природы*. Этот факт академик Н. Белов объясняет тем, что ось 5-го порядка – своеобразный инструмент борьбы за существование, “страховка против окаменения, кристаллизации, первым шагом которой была бы их поимка решеткой” (цит. по кн.: [37]). Действительно, живой организм не имеет кристаллического строения в том смысле, что даже отдельные его органы не обладают пространственной решеткой. Однако упорядоченные структуры в ней представлены очень широко.

В мире рыб, насекомых, птиц, млекопитающих характерна *билатеральная симметрия* (билатеральный в переводе с латинского – “дважды боковой”) – так в биологии называют зеркальную симметрию. Это обусловлено тем, что в отличие от растений, которые не меняют места жительства, для животных актуально перемещение в пространстве: у них нет симметрии относительно того направления, в котором они передвигаются, т.е. задняя и передняя части животного асимметричны. Плоскость симметрии у животных, кроме вектора направления движения, определяется, как и у растений, направлением силы тяжести. Эта плоскость делит животное на две половины – правую и левую. Это же относится и к человеку.

Симметрия подобия проявляется в природе во всем, что растет. Ствол дерева имеет вытянутую коническую форму. Ветви обычно располагаются вокруг ствола по линии, похожей на винтовую, но она постепенно суживается к вершине. Это пример *симметрии подобия с винтовой осью симметрии*. Всякий живой организм повторяет себя в подобном. Природа обнаруживает *подобие как свою глобальную генетическую программу*. Подобие правит живой природой в целом. Геометрическое подобие считается общим принципом пространственной организации живых структур. Лист березы подобен другому листу березы и т.п.

Есть еще одна замечательная симметрия – **самоподобие** или **масштабная инвариантность (скейлинг)**, которая имеет самое прямое отношение к природе. При построении моделей, описывающих окружающий нас мир, мы привыкли использовать такие из-

вестные геометрические понятия, как линия, круг, сфера, квадрат, куб и другие. Но на самом деле мир устроен по более сложным законам. Оказалось, что не всегда можно ограничиться такими простыми понятиями, т.е. мир не всегда можно изучать, используя только “линейку и циркуль”. Геометрия Евклида не способна описать форму ни облаков, ни гор, ни деревьев, ни берега моря. Дело в том, что облака – это не сферы, горы – не конусы и т.д. Природа демонстрирует нам совершенно другой уровень сложности, чем мы привыкли считать. В природных структурах, как правило, число различных масштабов бесконечно.

Математики разработали математические понятия, выходящие за рамки традиционной геометрии, идеи которой, как теперь начинают понимать, позволяют все глубже постигать сущность природы. Одним из таких ярких примеров можно назвать *фрактальную геометрию*, центральным понятием которой является понятие “*фрактала*”. На русский язык это слово переводится как “*изломанный объект с дробной размерностью*”.

Существует множество различных определений фрактала. Прежде всего, математическое понятие фрактала выделяет объекты, обладающие структурами различных масштабов, отражая иерархический принцип организации. Фракталы обладают свойством *самоподобия*: их вид существенно не изменяется при рассмотрении через микроскоп с различным увеличением, т.е. фрактал выглядит практически одинаково, в каком бы масштабе его не наблюдали. Другими словами, фрактал состоит из однотипных элементов разных масштабов и, по сути, представляет собой повторяющийся при изменении масштабов узор. Малый фрагмент такого объекта подобен другому, более крупному фрагменту, или даже структуре в целом. Поэтому и говорят, что *фрактал есть структура, состоящая из частей, которые подобны целому*. Фракталы в какой-то степени отражают принцип восточной мудрости: “одно во всем, и все в одном”.

Главная особенность фракталов состоит в том, что они имеют *дробную размерность*, являющуюся следствием масштабной инвариантности. С математической точки зрения геометрические объекты, в том числе и *фракталы*, можно рассматривать как множество точек, вложенных в пространство. Например, множество точек, образующих линию в евклидовом пространстве, имеют размерность $D = 1$, а множество точек, образующих поверхность в

трехмерном пространстве, имеют размерность $D = 2$. Шар имеет размерность $D = 3$. Их характерная особенность состоит в том, что длина линии, площадь поверхности или объем пропорциональны, соответственно, линейному масштабу в первой, во второй или третьей степени, т.е. их размерность совпадает с размерностью пространства, в которое они вложены. Однако существуют объекты, для которых это не так. К таким объектам, в частности, относятся *фракталы*, размерность которых выражается дробным числом $1 < D_f < 3$, где D_f – *фрактальная размерность*. На рис. 2.1 показан один из таких типичных примеров, демонстрирующих, что *кривая может иметь размерность $D_f > 1$* , так называемая *кривая Кох*.

Она строится следующим образом. Исходный отрезок единичной длины делится на три равные части. Затем выполняются построения, показанные на рис. 2.1. В результате в первом поколении ($n = 1$) получаем ломаную кривую, состоящую из четырех звеньев длиной по $1/3$. Длина всей кривой в этом поколении составляет $L(1/3) = 4/3$. Следующее поколение ($n = 2$) получается путем той же самой операции над каждым прямолинейным звеном первого поколения. Здесь получается кривая, состоящая из $N = 4^2 = 16$ звеньев, каждое длиной $\delta = 3^{-2} = 1/9$. Вся длина равна $L(1/9) = (4/3)^2 = 16/9$. И так далее. На n -м шаге длина прямолинейного звена $\delta = 3^{-n}$. Число поколений можно представить в виде $n = -\ln \delta / \ln 3$, а длина всей ломаной $L(\delta) = (4/3)^n = \exp \ln \delta [\ln 4 - \ln 3] / \ln 3 = \delta^{1-D_f}$, $D_f = \ln 4 / \ln 3 = 1,2628$. Число сегментов $N(\delta) = 4^n = 4^{-\ln \delta / \ln 3}$ и может быть записано как $N(\delta) = \delta^{-D_f}$, где D_f – фрактальная размерность кривой Кох. Таким образом, кривая Кох есть фрактал с фрактальной размерностью $D_f = \ln 4 / \ln 3$. Подобным образом можно построить много разновидностей и других фракталов. Можно построить и такие объекты, для которых необходимо вводить не одну, а несколько размерностей. Иногда такие объекты называют *математическими фракталами*, которые, в отличие от природных или физических фракталов, обладают идеальным самоподобием. Для физических фракталов (реально существующие объекты) самоподобие или масштабная инвариантность выполняется *приблизительно* (или, как говорят, в среднем).

Примером фрактального объекта, часто встречающегося в природе, является береговая линия. На рис. 2.2 показана южная

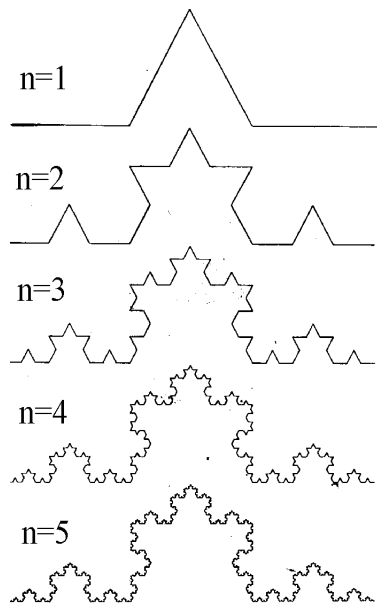


Рис. 2.1. Построение триадной кривой Коха



Рис. 2.2. Побережье южной части Норвегии

часть побережья Норвегии, которое имеет вид сильно изрезанной линии. Можно показать, что измерить длину такой линии, используя обычные способы евклидовой геометрии, невозможно. Но для этой цели хорошо подходит фрактальная геометрия. Оказалось, что длина береговой линии хорошо описывается формулой $L(\delta) = a\delta^{1-D_f}$, где δ – используемый для измерения масштаб (например, некоторый раствор циркуля), a – число единиц масштаба. Для побережья Норвегии это $D_f \simeq 1,52$, для береговой линии Великобритании – $D_f \simeq 1,3$. В природе фрактальные структуры встречаются часто: очертания облаков, дым, деревья, береговая линия и русла рек, трещины в материалах, бронхи легких, пористые губки, ветвящиеся подобно лишайникам структуры, поверхности порошков, артерии и реснички, покрывающие стенки кишечника, и многие другие, которые не имеют, на первый взгляд, закономерностей в своем строении. Но отсутствие порядка в них иллюзорно. Внешне они выглядят как изрезанные, “лохматые” или “дырявые” объекты, представляя собой нечто промежуточное между точками, линиями, поверхностями и телами.

Введение понятия фрактала и фрактальной геометрии позволяет выделить ранее скрытые закономерности в строении и свойствах природных объектов, имеющих неупорядоченную структуру, классифицировать и исследовать их свойства. Когда мы смотрим на фрактальный объект, то нам он представляется неупорядочен-

ным. При увеличении или уменьшении масштаба мы опять увидим то же самое. Это и есть проявление свойства симметрии – *масштабной инвариантности, или скейлинга*. Именно оно и обуславливает их необычные свойства. Благодаря самоподобию фракталы обладают удивительно притягивающей *красотой*, которой нет в других объектах. Они могут описывать многие процессы, которые до сих пор не удавалось описать, благодаря своей дробной размерности и самоподобию. Даже считается, что фрактальный мир гораздо ближе к реальному, так как свойства фракталов демонстрируют многие природные объекты. Видимо, не зря говорят, что природа любит фракталы.

Столь удивительное сходство реального мира и фрактального обусловлено, прежде всего, тем, что свойства физического мира изменяются медленно с изменением масштабов. У песка на берегу много свойств, общих со свойствами гальки. Маленький ручеек во многом похож на большую реку. Такая неизменность относительно масштаба – характерная черта фракталов. В живой природе внешний вид и внутреннее строение заданы в генотипе алгоритмически. Ветка дерева похожа на само дерево, поскольку построена по тому же алгоритму. Это относится и к кровеносной системе животных, человека, и к сложным листьям некоторых растений.

Различные фрактальные множества можно получать и с помощью простых (элементарных) преобразований, например, типа $x_{n+1} = x_n^2 + c$, где c – некоторое комплексное число, $n = 1, 2, 3, \dots$. Множество чисел, полученных по этой формуле, при определенных значениях c также обладают свойствами фракталов. Отображая их на плоскости или в трехмерном пространстве, получают удивительно красивые изображения (см., например, рис. 2.3 и рис. 2.4).

Интересно отметить, что фрактальная математика может быть использована для анализа изменений цен и заработной платы, статистики ошибок на телефонных станциях, частот слов в печатных текстах и т.д.

Подчеркнем, что симметрия в живой природе никогда не бывает абсолютной, всегда присутствует какая-то доля несимметрии. Хотя с симметрией мы встречаемся практически всюду, но при этом замечаем часто не ее, а ее нарушение. *Асимметрия* – другая сторона симметрии. Асимметрия – это несимметрия, т.е. отсутствие (нарушение) симметрии.

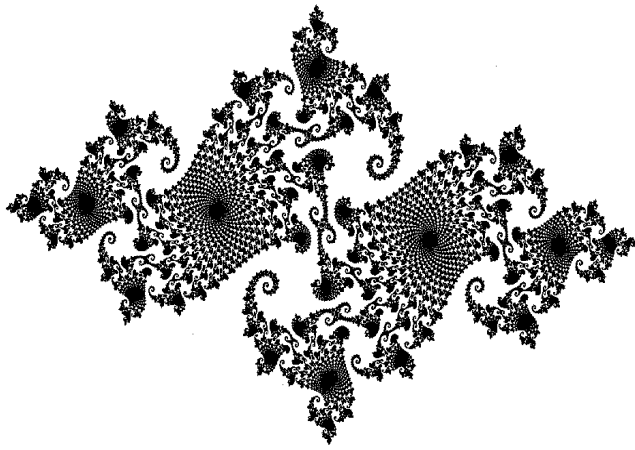


Рис. 2.3. Характерное изображение фрактального множества Жюлиа

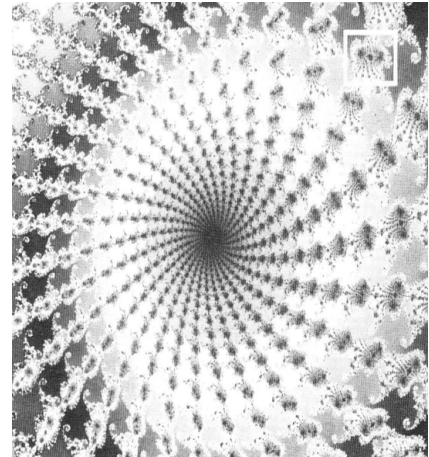


Рис. 2.4. “Глаз морского конька”

Симметрия и асимметрия – две полярные противоположности объективного мира. На разных уровнях развития материи присутствует то симметрия – относительный порядок, то асимметрия – тенденции нарушения покоя, движения, развития.

Асимметрия присутствует уже на уровне элементарных частиц и проявляется в абсолютном преобладании в нашей Вселенной частиц над античастицами. Известный физик Ф. Дайсон писал: “Открытия последних десятилетий в области физики элементарных частиц заставляют нас обратить особое внимание на концепцию нарушения симметрии. Развитие Вселенной с момента ее зарождения выглядит как непрерывная последовательность нарушений симметрии. В момент своего возникновения при грандиозном взрыве Вселенная была симметрична и однородна. По мере остывания в ней нарушается одна симметрия за другой, что создает возможности для существования все большего и большего разнообразия структур. Феномен жизни естественно вписывается в эту картину. Жизнь – это тоже нарушение симметрии” (цит. по ст.: И. Акопян // Знание – сила. 1989).

Молекулярная асимметрия открыта Л. Пастером, который первым выделил “правые” и “левые” молекулы винной кислоты: правые молекулы похожи на правый винт, а левые – на левый. Такие молекулы химики называют *стереоизомерами*. Молекулы-стереоизомеры имеют одинаковый атомный состав, одинаковые размеры, одинаковую структуру – в то же время они различимы, поскольку являются *зеркально асимметричными*, т.е. объект оказывается нетождественным со своим зеркальным двойником.

Поэтому здесь понятия “правый-левый” – условны. В настоящее время хорошо известно, что *молекулы органических веществ, составляющие основу живой материи, имеют асимметричный характер*, т.е. в состав живого вещества они входят только либо как *правые*, либо как *левые молекулы*. Таким образом, каждое вещество может входить в состав живой материи только в том случае, если оно обладает вполне определенным типом симметрии. Например, молекулы всех аминокислот в любом живом организме могут быть только левыми, сахара – только правыми. Это свойство живого вещества и его продуктов жизнедеятельности называют **дисимметрией**. Оно имеет совершенно фундаментальный характер. Хотя правые и левые молекулы неразличимы по химическим свойствам, *живая материя их не только различает, но и делает выбор*. Она отбраковывает и не использует молекулы, не обладающие нужной ей структурой. Как это происходит, пока не ясно. Молекулы противоположной симметрии для нее яд. Если бы живое существо оказалось в условиях, когда вся пища была бы составлена из молекул противоположной симметрии, не отвечающей дисимметрии этого организма, то оно погибло бы от голода. В неживом веществе правых и левых молекул поровну.

Дисимметрия – единственное свойство, благодаря которому мы можем отличить вещество биогенного происхождения от неживого вещества. Мы не можем ответить на вопрос, что такое жизнь, но имеем способ отличить живое от неживого. Таким образом, асимметрию можно рассматривать как разграничительную линию между живой и неживой природой. Для неживой материи характерно преобладание симметрии, при переходе от неживой к живой материи уже на микроуровне преобладает асимметрия. В живой природе асимметрию можно увидеть всюду. Очень удачно это подметил в романе “Жизнь и судьба” В. Гроссман: “В большом миллионе русских деревенских изб нет и не может быть двух неразлично схожих. Все живое неповторимо. Немыслимо тождество двух людей, двух кустарников шиповника... Жизнь глохнет там, где насилие стремится стереть ее своеобразие и особенности”.

Симметрия и асимметрия составляют единство, они взаимосвязаны друг с другом, как две стороны одной медали. Нельзя представить полностью симметричный мир, так же как и невозможно помыслить о мире, вообще лишенном симметрии. Симметрия лежит в основе вещей и явлений, выражая нечто общее, свойствен-

ное разным объектам, тогда как асимметрия связана с индивидуальным воплощением этого общего в конкретном объекте.

На принципе симметрии основан *метод аналогий*, предполагающий отыскание общих свойств в различных объектах. На основе аналогий создаются физические модели различных объектов и явлений. Аналогии между процессами позволяют описывать их общими уравнениями. Принципы симметрии лежат в основе теории относительности, квантовой механики, физики твердого тела, атомной и ядерной физики, физики элементарных частиц. Разработан метод решения задач из соображений симметрии.

Принципы симметрии выражают наиболее общие свойства природы, они имеют более общий характер, чем законы движения. Поэтому проверка принципов симметрии всегда интересовала физиков, а поиск новых симметрий составляет одну из задач физики вообще. Поиски новых свойств симметрии — это вместе с тем поиски и новых законов сохранения. Наши представления о симметрии устанавливаются путем обобщения опытных данных. Некоторые симметрии оказываются только приближенными. С другой стороны, обобщая опыт, мы открываем новые законы сохранения и, следовательно, новые принципы симметрии.

Существует точка зрения, согласно которой в нашем познании о мире есть три ступени: *уровень явлений или событий, законов природы и принципов симметрии*, поднимаясь на которые, мы глубже и дальше познаем природу, лучше ее понимаем. *Уровень явлений* самый элементарный. Это все, что происходит в мире: движение тел, столкновения частиц, поглощение и излучение света и много других явлений. С первого взгляда кажется, что между ними нет ничего общего. Однако при более внимательном рассмотрении мы обнаруживаем, что *между явлениями имеются определенные взаимосвязи*, которые и называют *законами*. В принципе, если бы мы располагали полной информацией обо всех явлениях и событиях в мире, то нам законы не были бы нужны. С другой стороны, если бы мы знали все законы или один всеобъемлющий закон природы, то свойства инвариантности этих законов не давали бы ничего нового. Но, к сожалению, нам не известно даже большинство законов природы. Поэтому познание свойств симметрии, как писал Е. Вигнер, “состоит в наделении структурой законов природы или установлении между ними внутренней связи, так же как законы устанавливают структуру или взаимо-

связь в мире явлений” (Вигнер, 1971). Поэтому говорят, что если *законы управляют явлениями*, то *принципы симметрии – это законы физических законов*. Таким образом, можно сказать, что *симметрия характеризует собой эпоху синтеза*, когда разрозненные знания сливаются в **единую, целостную картину**.

Выявление различных симметрий в природе, а иногда и постулирование их, стало одним из методов теоретического исследования микро-, макро- и мегамира. *Законы природы позволяют предсказывать явления, а принципы симметрии – открывать законы природы*. Например, уравнения Максвелла в электродинамике получены на основании симметрии между электрическими и магнитными явлениями. Д. Максвелл исходил из убеждения, что взаимодействия электрического и магнитного полей должны быть симметричными, и поэтому ввел в свои уравнения дополнительное слагаемое, учитывающее это обстоятельство. Уверенность в симметрии законов природы привела его к выводу о существовании электромагнитных волн. Также можно сказать, что идея А. Эйнштейна, приведшая его к созданию теории относительности, опиралась на уверенность в глубокой симметрии природы, которая должна одновременно охватывать механические, электромагнитные и все другие явления.

О. Мороз в книге “В поисках гармонии” писал, что физики гонятся за симметрией подобно тому, как путники преследуют в пустыне ускользящий мираж. Вот возникла на горизонте прекрасная манящая картина, но как только вы попытаетесь к ней приблизиться, она исчезает, оставляя чувство горечи.

2.3.5. Принципы оптимальности

Эти принципы также называют **экстремальными** или **вариационными**. Считается, что лучшей является та теория, в которой используется как можно меньше исходных положений, а объясняется и предсказывается как можно больше новых фактов. Развитие естественных наук показало, что естественную науку, имеющую дело с явлениями природы, не удастся построить как замкнутую систему, т.е. раз и навсегда перечислить все ее исходные положения. Теория должна оставаться открытой, для того чтобы иметь возможность включать новые факты и распространяться на новые области реальности. В то же время положения теории неравноправны: среди них есть некоторое так называемое

”динамическое ядро”, задающее силы и тенденции движения, и набор условий, в которых действуют эти силы. Такой набор условий характеризует конкретную систему и может меняться или расширяться. Как показывает история науки, ядро теории может быть сведено к единственному принципу. Например, все факты классической механики можно свести к *принципу наименьшего действия*. Суть этого подхода состоит в следующем. Для описания состояния любой системы вводится так называемая функция Лагранжа $L(q, t)$, зависящая от координат и скоростей. Если известно, что в моменты времени t_1 и t_2 система имеет определенные координаты, то среди возможных движений между этими положениями реальным будет такое, вдоль которого *действие*, определяемое как $S = \int_{t_1}^{t_2} L(q_1, q_2, t) dt$, будет иметь минимум.

В геометрической оптике законы распространения, отражения и преломления света сведены к *принципу скорейшего пути Ферма*: свет распространяется по такому пути, что время его прохождения минимально.

Такое направление развития характерно для систем самой различной природы: технических, биологических, социальных и др. Всем экстремальным принципам присущи лаконизм и простота, и в то же время они имеют общий, универсальный характер. Например, зная принцип Ферма, можно рассчитать любую оптическую систему, не нуждаясь в каких-либо других законах геометрической оптики. Содержанием всякого экстремального принципа является утверждение о минимуме или максимуме некоторой физической величины. Например, расчет траектории рассматривается как отыскание истинного пути среди множества возможных. Основная проблема состоит в том, чтобы найти оптимизируемую величину, выяснить ее конструкцию.

Формальные понятия и представления, выросшие на почве классической механики, вышли далеко за ее пределы. Понятие ”действие”, введенное Гамильтоном, сейчас распространяется на социальные системы, экономические и т.п.

Среди экстремальных принципов важное место занимает **принцип минимума диссипации энергии**. В мировом процессе развития этот принцип играет особую роль. Его суть коротко можно сформулировать так: *если допустимо не одно состояние системы, а целая совокупность состояний, согласных с правилами отбора, то реализуется то состояние, которому соответ-*

ствует минимальное рассеивание (диссипация) энергии или, что то же самое, минимальный рост энтропии. Так как убывание энтропии возможно только за счет поглощения внешней энергии, то реализуются те из возможных форм организации материи, которые способны в максимальной степени поглощать энергию.

Область применения этого принципа постоянно расширяется. На протяжении всей истории человечества стремление овладеть источниками энергии и вещества было одним из важнейших стимулов развития и устремлений человеческих интересов. И поэтому всегда было источником разнообразных конфликтов. По мере истощения природных ресурсов возникает тенденция к экономному расходованию этих ресурсов, появлению безотходных технологий.

Если говорить об иерархии принципов отбора, то принцип минимума диссипации энергии как бы играет роль завершающего принципа: когда другие принципы не выделяют единственного устойчивого состояния, этот принцип служит дополнительным принципом отбора. Поэтому его рассматривают в качестве универсального принципа.

2.3.6. Принцип соответствия

Планк установил, что классическая теория хорошо работает в случаях, когда постоянной Планка h можно пренебречь. Это указало на взаимосвязь квантовой теории с классической. В дальнейшем Бор сформулировал принцип, получивший название *принципа соответствия*: для больших квантовых чисел частота излучения, испускаемого атомом при переходе из одного состояния в другое, асимптотически совпадает с одной из частот, ожидаемых по классической теории. Другими словами, в пределе при h , стремящейся к нулю, *результаты квантовой теории должны переходить в предсказания классической теории.* Этот принцип сыграл важную роль в развитии и становлении квантовой физики. Согласно данному принципу квантовая механика содержит в себе классическую как предельный случай. Принцип соответствия является в квантовой физике неотъемлемой частью теории.

Принцип соответствия служит *методологическим принципом* и не ограничивается рамками физики. С этой точки зрения необходимо рассматривать весь процесс развития не только физики, но и естествознания в целом. Действительно, теория относительности возникла как обобщение классической механики, поэтому

последняя выступает как частный случай релятивистской механики. Волновая оптика представляет обобщение геометрической оптики, а последняя есть частный случай волновой оптики, и т.д.

Во всем этом проявляется общая закономерность развития физики, которую можно сформулировать так: *теории, справедливость которых экспериментально установлена для той или иной области физических явлений, с возникновением новых более общих теорий не устраняются как нечто ложное, но сохраняют свое значение для прежней области и становятся частным случаем новых теорий.* Принцип соответствия считается одним из важнейшим достижением всего естествознания в XX в. Благодаря ему история физической науки предстает перед нами не как хаотическая смена различных теорий, не как череда их крушений, а как закономерный и последовательный процесс развития познания, идущего ко все более широким обобщениям, как познавательный прогресс, каждая ступень которого имеет объективную ценность.

Философское значение принципа соответствия в том, что он показывает, как реализуется тезис диалектического материализма в естествознании о том, что абсолютная истина складывается из бесконечной последовательности относительных истин. Принцип соответствия утверждает, что:

1) каждая физическая теория – относительная истина, содержащая элемент абсолютной истины; она соответствует определенному этапу в процессе познания;

2) смена физических теорий – это не череда катастроф, а естественный процесс развития физики, постепенное проникновение в сущность вещей и явлений;

3) сколь бы "безумными" и противоречивыми не казались новые теории, они всегда образуют единое целое.

Итак, *развитие физики – это не механическая замена старых теорий новыми, а процесс их последовательного обобщения, когда новое отрицает старое, но не просто отрицает, а с удержанием всего того положительного, что было накоплено в старом.* По-видимому, это применимо к любому развитию, о чем желательно никогда не забывать.

2.3.7. Редукционизм

Редукционизм (редукция) – стремление свести объяснение сложного через более простое, непонятное (неизвестное) через известное. В основе редукционизма лежит представление о том, что, зная свойства отдельных элементов, составляющих систему и особенности их взаимодействия, можно вывести все свойства этой системы. Другими словами, свойства системы являются следствием свойств элементов системы и их взаимодействий. Таким образом, суть редукции как метода познания и объяснения явлений и материальных образований более сложного уровня можно представить как результат закономерного усложнения более простых явлений и материальных образований. Такой взгляд особенно распространен в физике, поэтому его иногда называют *физическим редукционизмом*.

Редукционизм – это своеобразный метод (образ) мышления, который пронизывает все науки, хотя и в разной степени. Часто он служит мощным средством исследования и позволяет изучать явления самой разной природы. Как способ мышления, редукционизм возник, по-видимому, в процессе эволюции, и прививается человеку в процессе обучения как объяснение “на пальцах”. Под редукционизмом также понимают и попытки заменить исследование реального объекта его упрощенной моделью или наглядной интерпретацией. Такой подход породил метод анализа, позволяющий связывать логическими переходами различные этажи моделей, построенных физикой.

В рамках редукционизма решено множество важнейших проблем естествознания. Впервые он был реализован в небесной механике, где взаимодействия особенно просты – это силы гравитации и законы Ньютона. Особенно ярким предсказанием явилось предсказание существования планеты Нептун. Идеи редукционизма оказались плодотворными не только в физике и механике, но и в биологии и других областях естествознания. Считается, что редукционизм был необходимым и неизбежным этапом развития естествознания.

История физики, по сути дела, состоит из демонстрации метода редукции, а именно синтезирования на основе множества явлений одной или несколько теорий. С давних пор были известны тепловые, звуковые и световые явления, механические движения и гравитация, которые когда-то считались совершенно различными.

После того как И. Ньютон объяснил законы движения, оказалось, что некоторые из перечисленных явлений, на первый взгляд не связанных между собой, – просто разные стороны одного и того же явления. Например, звуковые явления (звук) – это движение атомов воздуха. Поэтому их перестали считать чем-то самостоятельным, отдельным от движения. Теплота также объясняется законами механического движения. В результате большие разделы физики слились в одну более простую теорию. Но гравитацию до сих пор не удается объяснить простыми законами движения, и она до сих пор стоит обособленно от всех остальных теорий.

За синтезом явлений движения, тепла и звука были открыты электрические и магнитные явления. В 1873 г. Д. Максвелл объединил их со световыми и оптическими явлениями, создав единую теорию, в которой свет рассматривался как электромагнитная волна. В начале XX в. была создана электронная теория вещества, которая объяснила, что такое вещество. Развитие этой теории привело к пониманию того, что электроны движутся вокруг ядра. Однако попытки объяснить это на основе законов механики оказались неудачными. Разработка новой теории или *новой системы взглядов*, способной заменить законы Ньютона, заняла определенное время. При этом пришлось расстаться со здравым смыслом, так как все, что происходит на атомном уровне, выглядит очень странно. В 1926 г. была разработана, как тогда считалось, “бредовая” теория, которая объясняла поведение электронов в веществе – квантовая механика. Слово “квантовая” относится к той странной особенности природы, которая противоречит здравому смыслу. Но, тем не менее, она позволила объяснить всю химию и различные свойства вещества.

Несмотря на столь значительные достижения и успехи, в настоящее время пришло понимание, что **редукционизм как метод мышления не является универсальным**. Поэтому не следует думать, что любые сложные явления или системы можно изучать с помощью расчленения на части и исследования их отдельных составляющих. Особенно ярко это стало видно в биологии при изучении феномена жизни. Именно здесь физический редукционизм как концепция наталкивается на трудности принципиального характера при попытках интерпретации явлений жизни в понятиях физики и химии. Хорошо известно, что биология имеет дело с объектами иерархической организации. Иерархичность организа-

ции живой материи предполагает, что на каждом более высоком уровне организации появляются свойства, которые отсутствуют на предыдущих уровнях. Эти свойства рассматриваются отдельными биологическими науками и описываются соответствующими теоретическими представлениями.

В биологии даже существует принцип **качественной несводимости** или *биологический антиредукционизм* в противовес физическому редукционизму. Его суть состоит в утверждении, что *законы и принципы, управляющие живой материей, качественно не сводимы к физическим и химическим взаимодействиям.*

Конструктивный смысл этого принципа состоит в осознании того факта, что физико-математические модели не могут быть адекватными биологическому прообразу, если в этих моделях не содержатся качественные элементы функциональной организации живых систем. Он утверждает, что никакие теоретико-физические или математические ухищрения не способны преодолеть барьер качественной несводимости, и только *эвристика*, основанная на глубоком знании биологии, может стать ключом к решению проблем, которые являются подлинно биофизическими. Принцип качественной несводимости означает существование предела, после которого физические представления перестают быть самостоятельным средством познания. Дальше этого предела определяющим фактором становятся некоторые биологические истины, без которых уже не обойтись.

2.3.8. Парадоксы как движущая сила науки

Истина часто проявляет себя в форме парадокса.

Парадокс – это то, что противоречит общепринятому, казалось бы, очевидному представлению. Парадоксы не только важны для построения новых теорий или глобальных задач; умение отыскать и сформулировать парадокс – важный познавательный прием и в повседневной научной работе. Разрешение парадокса вызывает дальнейшее движение науки вперед; убедительно обоснованные парадоксы много раз приводили к научным революциям.

Сила тяготения и сила инерции одинаково зависят от массы, предметы в свободно падающей камере находятся в состоянии невесомости – сила тяжести компенсируется силой инерции. Все это было известно много лет и ничего в этом не было странного.

Для Эйнштейна это было парадоксом, и отсюда родилась общая теория относительности. По сути дела, все великие открытия были разрешением тех или иных парадоксов.

2.3.9. Красота науки

*Нет ничего практичней
хорошей теории.*

Физический фольклор

Красота – понятие очень абстрактное, о нем до сих пор спорят и философы, и эстетики, но нет сомнений, что именно она служит источником вдохновения ученых. *Красота* – совокупность качеств, которые доставляют наслаждение взору, слуху; все красивое, прекрасное, что необходимым образом нравится всем (или почти всем). Истинное всегда прекрасно, но и прекрасное часто оказывается истинным. А. Пуанкаре писал: "Полезные комбинации – самые красивые. Специальное эстетическое чувство – ощущение красоты – играет роль решета... Тот, кто не владеет им, никогда не будет истинным творцом". (Цит. по: [32].)

В свое время гелиоцентрическая система Коперника сменила сложную геоцентрическую систему Птолемея, хотя последняя и позволяла рассчитывать положения планет на небе. Согласно теории относительности во Вселенной не существует выделенной системы координат и с этой точки зрения обе системы равноправны, первая принимает за систему отсчета Солнце, а вторая – Землю. Но в конце концов все решила красота – красота системы Коперника. Простота описания движения планет в гелиоцентрической системе так облегчает работу интуиции, что превращается в качественно новое явление, дает дорогу развитию теории. Открытие законов Кеплера, небесная механика Ньютона – все это следствия открытой Коперником гармонии и красоты мира. Не зря А. Пуанкаре говорил, что универсальная гармония мира есть источник всякой красоты.

Наука, в том числе и физика, ищет *скрытую внутреннюю красоту мироздания*, но красота самой физической теории часто настолько убедительна, что заставляет физиков ставить сложнейшие эксперименты, чтобы подтвердить или опровергнуть сделанные предположения. Когда ученый находит изящное построение, оно почти всегда или решает задачу, или пригодится в будущем для других задач. Таким образом, поиски красоты ведут нас к

познанию природы. Природа красива. Мы не знаем почему, но этому нас учит опыт, который показывает, что *красота влечет за собой полезность*. Эффективные теории всегда красивы. Но красивы они не потому, что эффективны, а потому что наделены внутренней симметрией и экономичны с точки зрения математики. Красота в физике – представление, включающее в себя профессиональную интуицию, и суть ее наилучшим образом выражается на языке математики. Для тех, кто владеет этим языком, красота теории столь же очевидна, как и красота природы. Ведь недаром понятие красоты встречается в научной лексике, когда говорят о красивых уравнениях или красивом техническом решении.

Красота в науке возникает при сочетании трех условий: правильности решения, его неожиданности и экономичности за счет открытия общего принципа, позволяющего преодолеть исходную сложность изучаемого объекта или явления. В. Гейзенберг писал, что "проблеск прекрасного в точном естествознании позволяет распознать великую взаимосвязь еще до ее детального понимания, до того, как она может быть рационально доказана." (Гейзенберг, 1987.) Вопросы красоты творений в науке играют немалую роль. Даже считается, что *только красивая теория может быть истинной*. Другими словами, красота начинает выступать в качестве одного из критериев правильности решения задачи или завершенности технической идеи. История науки и техники подтверждает, что красиво все, что совершенно. Однако строгих критериев красоты не существует, она, в первую очередь, связана с интуицией. Даже при решении логических задач важную роль играет внелогическая компонента – критерий красоты. Тем не менее применительно к теоретической физике можно определить несколько признаков, описывающих структуру понятия красоты теории.

1. *Простота*. Математический аппарат может быть сколь угодно сложным, но теория считается простой, если в ней заложено очень малое количество исходных положений, аксиом и постулатов, взятых из опыта, а из них вытекает большое число разнообразных выводов, следствий и эффектов. Все фундаментальные уравнения имеют чрезвычайно простую математическую форму, что позволяет говорить о них как о красивых уравнениях. История науки показывает, что из двух конкурирующих научных теорий, как правило, побеждает более простая. Выше мы уже говорили, что видимое движение планет может быть объяснено как в геоцен-

трической системе Птолемея, так и в гелиоцентрической системе Коперника. Но если в первом случае приходилось использовать достаточно сложные математические расчеты, то другая свелась к простым уравнениям Кеплера. Д.Максвелл ввел в рассмотрение понятие *электромагнитного поля* и получил простые уравнения, которые лежат в основе всей классической электродинамики. Иногда говорят, что простота – печать истины. В некоторых случаях, когда дальнейший путь не ясен, именно математическая красота и изящество ведут ученых к истине. Физик интуитивно чувствует, что природа предпочитает красивые решения некрасивым.

2. *Адекватность математического аппарата.* Математический аппарат должен соответствовать данной физической теории, подходить для ее формулировки (векторный анализ в электродинамике, тензорный анализ в теории тяготения и т.д.). А. Эйнштейн говорил, что если бы не было тензорного анализа, он может быть не создал общую теорию относительности.

3. *Четкость и ясность обозначений и терминологии.* Например, в физике высоких энергий существуют такие понятия, как странность, цвет, очарование и другие, которые имеют не только качественный смысл, но и количественное выражение: странность частицы равна 0 или ± 1 . Конечно, все эти термины не имеют буквального смысла, они абстрактны, но все же в какой-то мере отдаленно с ними связаны. Можно просто эти свойства пронумеровать, но это было бы скучным, а физический мир – мир эмоциональный. Термин "странность" возник тогда, когда были обнаружены частицы со свойствами, которые не укладывались в существующие представления и потому казались странными. Выбор удобных компактных обозначений часто помогает работе, способствует обобщению, связан с возникновением и становлением абстрактных понятий. История науки показывает, что введение эффективных и простых обозначений влечет за собой далеко идущие последствия. В научной работе обозначения нередко заменяют наглядные представления о физическом объекте. Так, когда физик думает об электромагнитном поле, в его представлении возникают обозначения векторов напряженности поля. Во многих вопросах физики и математики обозначения часто непосредственно связаны и с сутью дела, и с глубиной обобщения, и с абстрактностью используемых понятий.

4. *Симметрия.* Она играет огромную роль в природе и в эс-

тетичности нашего восприятия мира. В природе симметрия почти никогда не бывает абсолютной, она, как правило, несколько нарушается.

5. *Привычка.* Если человек сталкивается с чем-то совершенно непривычным, то вряд ли это сразу ему покажется красивым. Чтобы почувствовать красоту явления, необходимо его глубокое понимание, нужно как бы привыкнуть к нему.

История науки связывает естественно-научные и технические знания с гуманитарными и отражает место науки в общей культуре. С одной стороны, в настоящее время язык и понятия науки стали широко проникать в социальную и общественную жизнь. С другой стороны, гуманитарные знания также оказывают определенное влияние на формирование современных физических представлений. Нередко гуманитарные представления служат неким интуитивным толчком, который приводит к рождению иного видения мира. Поэтому эстетические вкусы создателей физической картины мира проявлялись на протяжении всей истории науки. Выдающийся математик Г.Вейль говорил: “В своей работе всегда пытался объединить истину с красотой, а когда мне приходилось выбирать между ними, я обычно выбирал красоту” (Вейль, 1969). В подобных высказываниях содержится глубокая вера в единство науки и искусства.

Физическая теория подобна костюму, сшитому для природы. Хорошая теория подобна хорошо сшитому костюму, а плохая – тришкину кафтану.

Я. Френкель

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

абстрагирование, анализ, аналогия, асимметрия, вероятность, возможность, гипотеза, дедукция, дисимметрия, идеализация, индукция, метод, моделирование, научный метод, необходимость, обобщение, парадокс, понятие, принцип, причина, принцип причинности, редукционизм, симметрия, синтез, следствие, случайность, стохастичность, теория, фрактал, хаос.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте особенности научного познания.
2. В чем состоит сущность научного метода? Почему он имеет ограничения?
3. Какие уровни познания существуют? Дайте краткую характеристику.

4. Объясните, как строятся понятия.
5. В чем сущность принципа “бритва Оккама”?
6. В чем состоит принцип причинности, детерминизма? Что они отражают?
7. В чем сущность принципа наблюдаемости?
8. В чем сущность принципов отбора и какую роль они играют в науке? Приведите примеры.
9. Перечислите и поясните виды симметрий и их проявление в неживой и живой природе. Какова их роль в естествознании?
10. Приведите примеры симметрии физических законов.
11. Какую роль в природе играет асимметрия?
12. В чем сущность принципа соответствия и какова его роль в науке?
13. Сформулируйте сущность редукционизма и антиредукционизма.
14. Что такое парадокс и какова его роль в науке? Приведите примеры парадоксов.
15. Что понимают под красотой науки?

Литература: [21, 22, 23, 27, 28, 32, 34, 36, 37, 39, 55].

Дополнительная литература: [1, 2, 3, 7, 8].