

Ю. В. Сачков

ВВЕДЕНИЕ
В ВЕРОЯТНОСТНЫЙ
МИР

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ

Ю. В. Сачков

ВВЕДЕНИЕ
В ВЕРОЯТНОСТНЫЙ
МИР

*Вопросы
методологии*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1971

Вероятностные и статистические методы глубоко проникли и продолжают проникать во все области научной и практической деятельности людей. Автор делает попытку рассмотреть проблему вероятности в связи с системно-структурным подходом. В книге раскрывается содержание понятий вероятности, случайности, стохастической закономерности, показывается соотношение динамических и статистических законов, применение вероятностно-статистических методов в научном познании.

Ответственный редактор

И. В. КУЗНЕЦОВ

1-5-1

№ 78-71(II)

Определение общей задачи

Многие исследователи, пытаясь охватить общим взглядом современную науку и рассмотреть определяющие ее особенности и тенденции развития, невольно сталкиваются с одной поразительной несправедливостью вне-социального порядка. Их удивляет резкое несоответствие между величайшей силой и глубиной воздействия теоретико-вероятностных идей и методов исследования на развитие современной науки и той более чем скромной данью уважения, которую проявляет к ним современное образованное общество в своих процессах научения и философских обобщений. Другими словами, вероятностные методы и представления играют ведущую роль в решении важнейших и разнообразных исследовательских задач современной науки, но они все еще должным образом не ассимилированы нашим мировоззрением. В этом отношении идеям и методам теории вероятностей менее повезло в сравнении с другими, даже более «частными» идеями современной науки. Большинство принципиальных достижений современного естествознания уже естественным образом включено в научное мировоззрение. Например, в настоящее время нельзя даже представить современное учение о пространстве и времени вне обобщения идей и методов теории относительности, а современный атомизм — вне основных выводов квантовой теории и физики элементарных частиц. Основные же идеи и методы теории вероятностей, несмотря на их более абстрактный и общий характер, порою еще робко включаются в современные мировоззренческие проблемы. Более того, даже в блестящих обзорах

по истории развития и современному состоянию математики идеям вероятности уделяется исключительно мало внимания, и они зачастую рассматриваются вне связи с магистральными путями развития математики.

Это несоответствие было подчеркнуто, например, Б. В. Гнеденко. Связывая судьбы вероятностных идей и методов с постановкой современного математического образования, он писал: «По учебникам математики, как школьным, так и вузовским, невозможно установить, что над миром пронеслась настоящая революция... Современный молодой человек остается примерно на том уровне математического развития, на каком математика находилась триста и в лучшем случае сто лет назад...

Традиционное содержание школьного и вузовского математического преподавания сложилось в ту пору, когда господствовала детерминистическая точка зрения лапласовского типа...

Статистические концепции стали в физике господствующими, но учебные планы и учебники на это практически не реагируют. Статистическая физика, атомная физика, квантовая механика широко используют теоретико-вероятностный аппарат, он становится основой физического мышления, математики же отстаивают в своих курсах традиционное изложение. Речь идет, конечно, не об отбрасывании методов математического анализа, их значение не уменьшилось ни в физике, ни в инженерном деле, ни в экономике, ни в биологии. Однако они одни уже не могут удовлетворительно описывать реальные процессы, и ощущается огромная необходимость в достаточно полном теоретико-вероятностном образовании»¹.

Указанное противоречие в разработке современных проблем методологии, не определяет, конечно, направление развития самой науки, но может осложнить развитие ее самосознания. Отсюда встает задача — проанализировать природу вероятности, рассмотреть условия и основания включения ее в общую систему мировоззрения. В данной работе предпринята попытка в какой-то мере осветить постановку и пути подхода к ре-

¹ Б. В. Гнеденко. Вопросы математизации современного естествознания. — В кн.: «Материалистическая диалектика и методы естественных наук». М., 1968, стр. 201—204.

шению этой задачи. При этом смысл философского рассмотрения идеи вероятности заключается прежде всего в выработке и анализе тех общих представлений о природе бытия и познания, которые необходимым образом сопровождают и дополняют развитие самой теории вероятностей. Такой философский анализ вероятности возможен лишь на основе обобщения практики ее воздействия на развитие естественнонаучных теорий и представлений. Концепции теории вероятностей и выросшие на ее основе специальные теории и методы не являются следствием, тем более — некими иллюстрациями или формами проявления действия философских категорий и законов или вообще действия некоторых более общих представлений. Они, как и вообще все специальные знания, обладают самостоятельной ценностью, определяющей лицо науки, и сохраняют прелесть непосредственных живых контактов с природой.

В то же время смысл общих категорий науки состоит не просто в том, что они являются сокращенной кодовой записью или же упрощают, упорядочивают необозримое разнообразие конкретной, «первичной» естественнонаучной информации. Общие категории выражают определенный аспект, определенный срез материальной действительности, который обладает относительной независимостью и ценностью и может подвергаться самостоятельному анализу. Общее и частное — это весьма широкие абстракции, отображающие особенности структуры материальной действительности. В реальной же действительности любое материальное образование, любой фрагмент материального мира представляет единство общего и частного, которые не могут существовать одно без другого или одно за счет другого.

Неоднократно отмечалось, что современное познание — как природы, так и социальных явлений — развивается исключительно бурно. Глубоко динамичным стало познание специфического и общего в строении и эволюции материи. Где динамичное обновление наших представлений о мире и познании, где напряженный ритм развития — там царство диалектики. А коль скоро признается, что идея вероятности внушающим образом стимулирует современный прогресс знаний, то это означает, что раскрытие ее природы опирается на анализ современных проблем диалектики. Другими словами, ис-

следование природы вероятности есть прежде всего исследование того духа материалистической диалектики, который движет современную науку.

1. О значении вероятности

Идеями вероятности, опирающимися на развитие и приложения теории вероятностей как математической концепции, пронизано все современное естествознание. Первой естественнонаучной теорией, внесшей в исследования вероятностный дух мышления, является по существу эволюционная теория Дарвина. Правда, в ней еще нет аналитической формулировки проблемы; более того, даже в настоящее время еще нет ее строгой математической модели. Проблема эволюции органического мира чрезвычайно сложна, в теории Дарвина сформулированы лишь исходные феноменологические понятия, прежде всего — изменчивости, наследственности и отбора. Но уже анализ взаимоотношений между этими понятиями немислим вне того, что называется вероятностным образом мышления. Основы такого подхода к теории Дарвина видны уже в известных ее оценках, данных Ф. Энгельсом с точки зрения диалектической концепции о внутренней связи между необходимостью и случайностью².

Дальнейшее развитие вероятностных идей в биологии связано со становлением и развитием генной теории, куда уже вошли и получают дальнейшее совершенствование методы собственно теории вероятностей как математической дисциплины. Законы генетики в своей основе являются вероятностными. И современные исследования проблем эволюции и организации живых систем как ведущих проблем биологии немислимы без привлечения вероятностных идей.

Обратимся к физике — науке, исследующей наиболее глубинные процессы материального мира и тем самым революционизирующей развитие всего комплекса естественных наук. Идея вероятности вошла в физику во второй половине прошлого века в ходе разработки молекулярно-кинетической теории — классической статистической физики. На путях развития этой теории в физике и произошло окончательное утверждение физического ато-

² См.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 535—536.

мизма — были получены непосредственные доказательства реальности атомов и первые данные о параметрах их структуры. Другими словами, именно вероятность утвердила в науке атом, вывела его на орбиту прямых физических исследований.

Еще большее значение идея вероятности приобрела в современной физике. Современная физика — физика микропроцессов, физика атома и элементарных частиц. Закономерности микропроцессов наиболее полно выражены в квантовой теории, которая принципиальным образом включает в себя понятие вероятности. На базе вероятности в квантовой теории характеризуются микрочастицы, их состояния и взаимодействия. При этом, если в случае классической физики вероятность еще иногда трактовалась как второстепенный, инородный элемент структуры самой физической теории, нарушающий ее внутреннюю красоту и совершенство, то в современной физике понятие вероятности с самого начала рассматривается как одно из существенных оснований структуры физической теории.

В развитии современной науки важнейшее значение имеет разработка того научного направления, которое получило название кибернетики. О значении кибернетики в наши дни говорить не приходится — оно общеизвестно. Кибернетика во многом определяет лицо естествознания середины XX в. и в громадной степени стимулирует современный синтез знаний. В разработке кибернетики вероятностные идеи являются исходными, базисными и основные ее представления, особенно теория информации, по существу представляют собой дальнейшее развитие концепций теории вероятностей. Излагая в доступной форме основные идеи кибернетики, «отец кибернетики» Н. Винер писал: «Эта книга посвящена рассмотрению воздействия точки зрения Гиббса на современную жизнь как путем непосредственных изменений, вызванных ею в творческой науке, так и путем тех изменений, которые она косвенным образом вызвала в нашем отношении к жизни вообще»³. С именем же Гиббса Н. Винер связывает радикальное становление и развитие вероятностной точки зрения на устройство мира и основания физического знания.

³ Н. Винер. Кибернетика и общество. М., 1958, стр. 27.

Для современного этапа развития науки характерно интенсивное становление теорий, обслуживающих прямые потребности развития современной техники. Таковы, например, теория автоматического управления и теория надежности. И здесь методы теории вероятностей являются тем живительным соком, который питает их современное развитие.

Существенно повысилась значимость теории вероятностей в общей структуре современной математики. «Всеми специалистам по теории вероятностей хорошо известно, что математика представляет собой часть теории вероятностей»⁴, — этими словами начал свой доклад в Московском математическом обществе известный американский ученый, специалист по теории вероятностей Дж. Дуб. Конечно, эти слова прозвучали как шутка, но шутка отнюдь не невинная. Факт заключается в том, что в современной математике мы наблюдаем, говоря словами И. М. Яглома, «резкое повышение удельного веса теории вероятностей в ряду других математических наук»⁵. Именно в математике находят свое концентрированное выражение продуктивная деятельность теоретического мышления вообще, разработка наиболее абстрактных, отвлеченных и благодаря этому наиболее действенных теоретических методов науки. Соответственно этому — возрастание роли вероятностных идей в самой математике означает наличие существенных преобразований в структуре и содержании наиболее абстрактных форм мышления.

Короче, вероятностные идеи в наше время стимулируют развитие всего комплекса знаний, начиная от наук о неживой природе и кончая науками о живой природе и обществе. Прогресс современного естествознания неотделим от интенсивного использования и развития вероятностных идей и методов исследования. В наше время трудно назвать какую-либо область исследований, где бы не применялись вероятностные методы. Более того, использование идей и методов теории вероятностей служит одним из основных необходимых условий появления многих современных ведущих научных теорий. Исходя из

⁴ «О некоторых вопросах современной математики и кибернетики». М., 1965, стр. 15.

⁵ И. М. Яглом. Кибернетика и теория информации. — В сб. «О некоторых вопросах современной математики и кибернетики», стр. 14.

вероятностных идей, формулируются основные понятия и представления этих теорий. Вероятностные идеи позволяют взглянуть с новой, более широкой точки зрения на ранее сложившиеся представления науки. Само понятие вероятности можно, не боясь преувеличений, назвать знаменем теоретического естествознания XX в., по крайней мере — первой его половины⁶.

Фундаментальное значение вероятностных идей и представлений в современной науке подчеркивалось многими выдающимися ее представителями. Н. Винер, связывая с именем Гиббса радикальное становление вероятности в науке и подчеркивая ее решающее значение в развитии современной физики, писал, что «именно Гиббсу, а не Альберту Эйнштейну, Вернеру Гейзенбергу или Максцу Планку мы должны приписать первую великую революцию в физике XX века»⁷.

Не менее характерно и мнение В. Паули — выдающегося физика-теоретика середины нашего века. «Я уверен, — писал он в письме к М. Борну, — что статистический характер ψ -функции (а таким образом, и законов природы)... будет определять стиль законов в течение по крайней мере нескольких столетий. Возможно, что позднее, например в связи с процессами жизни, будет найдено нечто совершенно новое, но мечтать о возвращении к прошлому, к классическому стилю Ньютона — Максвелла... — это кажется мне безнадежным, неправильным, признаком плохого вкуса»⁸. Можно добавить здесь, что статистическими закономерностями называются именно те, которые принципиальным образом включают в себя понятие вероятности.

Коль скоро признается, что идея вероятности играет колоссальную роль в развитии современной науки, то отсюда следует, что эта идея образует существенный элемент современного мировоззрения, современной философии

⁶ Логическая структура вероятностных систем знания прежде всего выражается в самом факте использования нового математического аппарата для отображения закономерностей природы. Этот новый аппарат — теория вероятностей — пришел на смену методам обычного математического анализа, особенно методам теории дифференциальных уравнений. Рассмотрение сущности этих изменений входит в задачу дальнейшего анализа.

⁷ Н. Винер. Кибернетика и общество, стр. 26.

⁸ Цит. по: М. Борн. Физика в жизни моего поколения. М., 1963, стр. 266.

фии. Иначе пришлось бы допустить, что мировоззрение не опирается на «положительную» науку, не обобщает ее развитие и не содействует этому развитию.

Каким же образом вероятность включается в систему нашего мировоззрения? В чем лежат объективные основы вероятностных идей? Только рассмотрев эти вопросы, можно понять «секрет» успеха идеи вероятности в современной науке.

2. Вероятность и математика

Успех вероятностных идей в науке неразрывно связан с тем, что они позволяют ввести в исследования соответствующих процессов математический образ мышления, опирающийся на развитый математический аппарат. Развитие вероятностных представлений демонстрирует прежде всего силу и мощь математики. И именно математическая природа вероятности во многом определяет ее успех: не имей идея вероятности математического базиса — ее воздействие на развитие науки было бы ничтожным. Отсюда следует, что более или менее полный анализ природы вероятности предполагает наличие определенных представлений о природе математики.

Кроме того, иногда считают, что использование идей и методов теории вероятностей в естествознании имеет лишь прикладное, но отнюдь не принципиальное значение. Другими словами, в таких случаях предполагается, что вероятность относится лишь к сфере и технике вычислений и не имеет сколько-нибудь существенного значения для раскрытия природы соответствующих явлений. Однако методы и идеи теории вероятностей имеют принципиальное значение в структуре самой математики, и смысл их «приложений» по своей природе не отличается от роли и значения «приложений» математики вообще во всем комплексе частных наук.

Вопрос о сущности, природе математики далеко не из легких. Сущность математики невозможно глубоко раскрыть и понять, не рассматривая в свою очередь вопрос о природе теоретических знаний, о теории вообще.

В настоящее время, прежде всего в кругах материалистически мыслящих исследователей, общепризнано, что теория обладает самостоятельной ценностью. Ее смысл и значение состоят, в противоположность пози-

тивистским концепциям, не в простой регистрации опытных фактов, их классификации, систематизации и сокращенной записи. Смысл ее гораздо глубже, и раскрывается он через анализ ее объяснительной и предсказательной функций. Теория есть в высшей степени динамичное, систематизированное и развивающееся абстрактное (мысленное) реконструирование (отражение, воспроизведение, моделирование) мира. Современное теоретическое знание достаточно развито, образует весьма сложную, относительно замкнутую и способную к внутреннему развитию систему. Теория обладает внутренними источниками развития, собственным содержанием и инструментарием. «Самостоятельность» теории выражается прежде всего в самом факте существования и развития математики. Математика представляет собой наиболее интересное и фундаментальное явление в системе теоретических знаний, в системе науки вообще. В ее развитии находят свое выражение внутренняя сила и динамика развития теории в самом широком смысле этого слова. Карл Маркс, по свидетельству Поля Лафарга, считал, что «наука только тогда достигает совершенства, когда ей удастся пользоваться математикой»⁹. В развитых областях исследования формулировка новых идей опирается на математику, ее понятия и представления, «подсказывается» последними. «Математика,—пишет Ф. Дайсон,—это основной источник представлений и принципов, посредством которых создаются новые теории»¹⁰.

Фундаментальное значение математики для теории отмечалось выдающимися мыслителями на протяжении всей истории развития науки. В наши дни вошло в обиход крылатое выражение «математизация знания» как характеристика основного направления роста теоретических представлений в науке вообще, в естествознании в частности. По отношению же к развитию современной теоретической физики справедливы утверждения, что она развивается методом математической гипотезы. Например, основные результаты и открытия квантовой теории и физики элементарных частиц, начиная от корпус-

⁹ «Воспоминания о Марксе и Энгельсе». М., 1956, стр. 66.

¹⁰ Ф. Дайсон. Математика и физика.—«Успехи физических наук» («УФН»), 1965, т. 85, вып. 2, стр. 352.

кулярно-волнового дуализма и кончая омега-минус-гипероном и гипотетическими кварками, были получены или сделаны «на кончике пера».

Рассмотрение процесса математизации как процесса роста теоретических представлений науки приводит нас прежде всего к рассмотрению предмета математики. Однако даже простое определение предмета математики встречает весьма значительные затруднения и обычно мало что говорит человеку, не вкусившему сей плод. Ведь гораздо легче подвергнуть критике или по крайней мере отметить недостаточность имеющихся определений математики.

Математика имеет и внутренние, и внешние основания; и соответственно этому полным определением математики может быть определение ее через самое себя и через другое, достигаемое на базе разумного диалектического синтеза того и другого.

В современных определениях математики через самое себя отмечается, что она есть наука об абстрактных структурах, законах их функционирования и развития и действий над ними; наука об абстрактных объектах и взаимосвязях между ними; наука об операциях (действиях, правилах вычислений) над объектами достаточной общей природы и т. п.

Абстрактными объектами математики, образующими соответствующие структуры, являются числа, величины, вектора, гиперкомплексные системы, множества, группы и т. д. Связи между ними, определяющие виды действий и операций над ними, выражаются такими понятиями, как сложение, умножение, деление, объединение, пересечение, преобразование, закон композиции и т. д. Излишне отмечать, что материалистический подход к раскрытию природы математики основывается на рассмотрении этих объектов и связей как отображений, образов, моделей определенных классов материальных объектов и систем, но образов и моделей, весьма отвлеченных от конкретной, физической природы этих объектов и систем и в этом отвлечении обретающих силу.

Однако следует отметить иногда проскальзывающую ограниченность в понимании предмета математики, когда последнюю рассматривают только как науку о количестве, числе и действиях над ним: современная математика исследует гораздо более широкий класс

объектов и отношений, хотя количество и продолжает играть существенную роль, так сказать, на первых этапах «математической реальности».

Рассмотрение внешних оснований математики — другого аспекта определения ее предмета — базируется на раскрытии места и значения ее в системе наук. При рассмотрении математически развитых естественнонаучных теорий, главным образом физических, можно заметить, что математика является основной формой выражения соответствующих закономерностей, что с ее помощью формулируются основные уравнения, составляющие ядро научных теорий. Наибольшая ценность математики состоит в том, что ее абстрактные объекты и отношения выражают остов, каркас, внутреннюю организацию наших знаний о соответствующих процессах природы.

Сказанное о предмете математики отражает преимущественно ее статику, а не динамику. Для диалектического взгляда на природу математики важно не только, да и не столько то, что ее объекты весьма абстрактны и выражают собой остов в определенных системах знаний: не менее важно и то, как происходят историческое развитие, совершенствование, смена этих объектов, разработка новых и перестройка старых.

При рассмотрении взаимодействия математики с другими отраслями знания, ее приложений необходимо иметь в виду исторический характер предмета математики. Последнее означает, что в процессе развития науки происходит смена тех математических дисциплин, которые наиболее сильно взаимодействуют с естествознанием. Для классической механики характерно применение обычного классического анализа (дифференциального и интегрального исчисления); для классической электродинамики Максвелла — векторного анализа; для теории относительности — тензорного анализа; для квантовой механики — теории гильбертовых пространств; для современной теории элементарных частиц — теории групп и обобщенных функций. Соответственно этому математизация знания, переход к математическому исследованию новых материальных объектов и систем предполагают в своей основе разработку новых математических теорий.

Вместе с тем познание сущности не есть одnorазовый акт, совершающийся как бы вдруг, по наитию свыше.

Сущность вещей познается на базе явлений, через непрерывное углубление в их познание. Математизация новых областей науки предполагает поэтому предварительное применение в этих областях всего ранее развитого арсенала математических средств.

Математика обладает внутренней преемственностью, закономерностью, определенной пластичностью в своем развитии, что определяет не только постоянное расширение сферы ее владений, но и ее силу. Чрезмерно настойчивое применение старых, не вполне адекватных математических методов к новым, более сложным объектам приводит в конечном счете к весьма запутанной картине; новые методы как более обобщенные позволяют проникнуть в более глубокую сущность и тем самым упростить картину, полученную на базе старых методов.

В известном смысле типичную ситуацию мы наблюдаем в современном взаимодействии математики и биологии. В настоящее время, говоря словами Н. А. Бернштейна, «стало очевидным, что на путях математизации биологических наук речь должна идти не о каком-то приживлении или подсадке математики к биологии извне (именно такие попытки делались, и, несомненно, еще будут делаться и впредь), а о выращивании новых, биологических глав математики изнутри, из самого существа тех вопросов, которые ставятся перед науками о жизнедеятельности. Оснащенные (может быть, уже в недалеком будущем) настоящим, адекватным математическим аппаратом, биология и биокибернетика сольются тогда, как думается, в синтетическую науку, которая станет для них новой и высшей ступенью»¹¹. Биология требует своей математики. Вместе с тем разработка таких разделов математики, по-видимому, станет возможной тогда, когда она явится в логическом отношении развитием и обобщением всей предшествующей математики. И чтобы такая возможность превратилась в действительность, нужно использовать все богатство современных математических методов для завоевания плацдармов, для первичной обработки огромной массы биологических данных во всех случаях, где это только возможно.

Коль скоро в процессе математизации ведущим при-

¹¹ Н. А. Бернштейн. На путях к биологии активности.— «Вопросы философии», 1965, № 10, стр. 78.

знается разработка новых разделов математики, то и для понимания природы этой науки важнейшей является та сторона, которая связана, как говорят, с индуктивной стороной мышления (в противоположность дедуктивной стороне). Вместе с тем иногда встречаются утверждения, что математика — это всецело и только дедуктивная наука. Такие утверждения связаны с господством аксиоматического метода в построении математических теорий и по существу представляют собой определенное истолкование этого факта. Однако сущность аксиоматического метода далеко не сводится к его дедуктивному аспекту, что подвергалось специальным рассмотрением¹². Дедукция говорит лишь о наличии определенной внутренней упорядоченности в математике, но не более. Сущность математических понятий, их взаимосвязь и закономерности развития раскрыть на базе одной дедукции невозможно. В математике, как и во всех областях науки, дедукция и индукция взаимодополняют и взаимобуславливают друг друга.

Соответственно этому процесс математизации и уже простое приложение «готовых» математических дисциплин в естествознании далеко не сводятся к расчетным процедурам, хотя таковые весьма важны. Прежде чем считать, нужно соотнести математические и собственно естественнонаучные представления и обосновать это соотношение, чего дедуктивно сделать нельзя. Математика проявляет свою действенность не только и не столько в процессах наведения строгого логического порядка в своих рядах, — напротив, ее основная сила заключается в обеспечении приращения наших знаний, в успехах познания явлений природы и общества.

Особенности математического мышления ясно проявляются на передних рубежах проникновения в область неизвестного. Математическое овладение новыми «территориями» в естествознании опирается на основательные их исследования естественнонаучными методами. Более того, математическое исследование новых проблем в общем случае предполагает постоянное взаимодействие математики и собственно естественнонаучных

¹² См.: *Н. Бурбаки. Архитектура математики.* — «Очерки по истории математики», стр. 245—259, а также: *Р. Курант. Математика в современной жизни.* — «УФН», 1965, т. 85, вып. 2, стр. 335—349.

идей. Это взаимодействие имеет место не только в постановке проблемы, но и в ходе ее решения, в результате чего осуществляется необходимая корректировка исследований. Полученные результаты также нуждаются в апробации: на математические решения обычно никогда не полагаются без дополнительной проверки.

Иногда говорят, что математика подобна искусству — и не потому, что она представляет собой искусство вычислять или искусство доказывать, а потому, что математика, как и искусство, есть особый способ познания. А всякий истинный способ познания опирается и на дедукцию, и на индукцию — на их диалектический синтез.

Можно допустить, что иногда математика рассматривается исключительно как дедуктивная наука вследствие того, что в ней для выражения свойств и зависимостей широко используется аналитический аппарат (знаки, символы и их системы). Некоторые полагают, что использование аналитических форм для выражения понятий науки умерщвляет последние, лишает их жизни. Однако умертвить любое понятие можно и не прибегая к аналитическим средствам: всякое формальное обращение с ними лишает их полнокровной жизни. Аналитические, формализованные выражения понятий и зависимостей являются необходимыми моментами в их развитии. К понятиям и зависимостям, имеющим аналитические формы выражения, не в меньшей, а в еще большей степени применимо все то, что выработано диалектикой в ее учении о понятиях и связях.

Аналитические выражения характеризуют наиболее устойчивое содержание понятий, но относительным образом. Они не исчерпывают содержания самих математических понятий. Последнее было рассмотрено А. Я. Хинчиным на примере понятия функции¹³. А. Я. Хинчин специально подчеркнул, что математики не фетишизируют аналитические выражения, тенденции же не проводить различия между функцией и ее аналитическим выражением он назвал рудиментарной традицией, тяготеющей над идеей функциональной зависимости с XVIII в., когда абсолютизация аналитических выражений привела к

¹³ См.: А. Я. Хинчин. Восемь лекций по математическому анализу. М.—Л., 1946, стр. 51 и сл.

их превращению из удобного орудия исследования в деспотического властителя идеи о функциональной зависимости.

Современное развитие понятия функции, как и других основных понятий математики, делает наглядно осязаемой эту мысль А. Я. Хинчина. Говоря о природе математизации знаний, нужно не противопоставлять формализованное (имеющее аналитическое выражение) и неформализованное содержание в «математизируемых» понятиях, а вскрывать диалектику их синтеза, памятуя, что «подлинная математика,— как пишет Г. Радемахер и О. Теплиц,— заключается не в нагромождении искусственных вычислительных приемов, а в умении получать нетривиальные результаты путем размышления при минимуме применяемого аппарата»¹⁴.

Для понимания природы математики принципиальное значение имеет анализ коллизии опережения и совпадения. Пример математизации физики говорит не только о том, что определенным физическим теориям соответствует своя математика. Наиболее существенно то, что соответствующие разделы математики в своих основных контурах возникли независимо и до разработки самих этих теорий; более того, использование данных разделов математики явилось необходимым условием разработки физических теорий. Математика предвосхищала развитие физики, и в истории физики не раз происходило удивительное совпадение математики с экспериментальной действительностью. И именно в этом предвосхищении проявляются вся сила теории, определенная самостоятельность и независимость ее развития.

Признание этого факта говорит о том, что, хотя понятия математики и являются образами и моделями материального мира, развитие новых математических понятий и представлений далеко не сводится к простому их выведению из некоторой новой области экспериментальных фактов науки. «Перед тем как началось революционное развитие современной физики,— пишут Н. Бурбаки,— было потрачено немало труда из-за желания во что бы то ни стало заставить математику родиться из экспериментальных истин; но, с одной стороны, квантовая физика показала, что эта «макроскопическая» ин-

¹⁴ Г. Радемахер и О. Теплиц. Числа и фигуры. М., 1962, стр. 47.

туция действительности скрывает «микроскопические» явления совсем другой природы, причем для их изучения требуются такие разделы математики, которые, наверное, не были изобретены с целью приложений к экспериментальным наукам, а с другой стороны, аксиоматический метод показал, что «истины», из которых хотели сделать средоточие математики, являются лишь весьма частным аспектом общих концепций, которые отнюдь не ограничивают свое применение этим частным случаем. В конце концов, это интимное взаимопроникновение... представляется не более чем случайным контактом наук, связи между которыми являются гораздо более скрытыми, чем это казалось а priori»¹⁵. Несомненно, конечно, что причины совпадения весьма глубоки, лежат в самой природе и структуре мира и способов его познания и, в частности, эти причины связаны с широкой изоморфностью отдельных фрагментов действительности, с определенной пластичностью переходов между «соседними» ее областями и т. д.

Поскольку признаются опережение и совпадение в линии развития математики и ее контактах с естествознанием, то анализ процесса математизации, его существования и предпосылок включает в себя и рассмотрение основных источников развития математики.

Говоря об источниках развития математики, необходимо иметь в виду как внутренние, так и внешние источники. Внутренние источники связаны с непрерывно происходящими в ней процессами совершенствования ее основ, с процессами обобщения, с взаимодействием и взаимопроникновением различных областей математики. Особенно плодотворное значение имеет взаимодействие прерывного и непрерывного, алгебраического и геометрического начал в ее предмете. Рассмотрение этих вопросов, как и предмета современной математики вообще, требует глубоких специальных знаний.

Примером же такого развития математических концепций может служить разработка теории групп. Эта теория возникла из решения проблемы об условиях разрешимости алгебраических уравнений высших степеней в радикалах. Именно в этой задаче впервые замети-

¹⁵ Н. Бурбаки. Архитектура математики.— «Очерки по истории математики». М., 1963, стр. 258.

ли, что свойства равноправности, симметрий корней уравнения являются основными для решения всей задачи. В дальнейшем идеи теории групп стали одними из важнейших обобщающих идей современной математики «Представление о группе и ее ясность и единообразие, которые были внесены в различные отрасли математики с его появлением,— пишет Р. Курант,— следует считать главным достижением последних 150 лет»¹⁶. Приложения же теории групп к естествознанию начались значительно позднее, после разработки ее начал, и непрерывно возрастают с развитием естествознания, прежде всего физики. В современной физике элементарных частиц они стали играть фундаментальную роль в деле их классификации и систематизации.

Некоторые математические идеи и целые дисциплины могут возникать при анализе такого фактического материала, которому вначале не придается серьезного значения. Лишь в последующем эти идеи находят более «солидное» подтверждение своей правильности. Типичным примером в этом отношении является разработка основных исходных представлений теории вероятностей. «Теория вероятностей, подобно другим математическим наукам,— пишет Е. С. Вентцель,— развилась из потребностей практики.

Начало систематического исследования задач, относящихся к массовым случайным явлениям, и появление соответствующего математического аппарата относятся к XVII веку. В начале XVII века знаменитый физик Галилей уже пытался подвергнуть научному исследованию ошибки физических измерений, рассматривая их как случайные и оценивая их вероятности. К этому же времени относятся первые попытки создания общей теории страхования, основанной на анализе закономерностей в таких массовых случайных явлениях, как заболеваемость, смертность, статистика несчастных случаев и т. д. Необходимость создания математического аппарата, специально приспособленного для анализа случайных явлений, вытекала и из потребностей обработки и обобщения обширного статистического материала во всех областях науки.

¹⁶ Р. Курант. Математика в современной жизни.— «УФН», 1965, т. 85, вып. 2, стр. 343.

Однако теория вероятностей как математическая наука сформировалась, в основном, не на материале указанных выше практических задач: эти задачи слишком сложны; в них законы, управляющие случайными явлениями, проступают недостаточно отчетливо и затусованы многими осложняющими факторами. Необходимо было сначала изучить закономерности случайных явлений на более простом материале. Таким материалом исторически оказались так называемые «азартные игры». Эти игры с незапамятных времен создавались рядом поколений именно так, чтобы в них исход опыта был независим от поддающихся наблюдению условий опыта, был чисто случайным. Самое слово «азарт» (фр. «le hasard») означает «случай». Схемы азартных игр дают исключительные по простоте и прозрачности модели случайных явлений, позволяющие в наиболее отчетливой форме наблюдать и изучать управляющие ими специфические законы; а возможность неограниченно повторять один и тот же опыт обеспечивает экспериментальную проверку этих законов в условиях действительной массовости явлений. Вплоть до настоящего времени примеры из области азартных игр и аналогичные им задачи на «схему урн» широко употребляются при изучении теории вероятностей как упрощенные модели случайных явлений, иллюстрирующие в наиболее простом и наглядном виде основные законы и правила теории вероятностей»¹⁷.

Важнейшее значение в разработке новых математических понятий и представлений играет математическое воображение, а какой исходный фактический материал при этом лучше всего использовать — об этом судить самим математикам. Вполне возможно, что нынешние частые обращения к математическому анализу структуры и законов обычного языка тоже служат этой цели.

Конечно, подобный выбор простых моделей, не содержащих осложняющих факторов и служащих базой для разработки новых представлений, характерен не только для математики. Хорошо известны те громадные «услуги», которые оказали классической генетике мушка-дрозофила или современной генетике — микроорганизмы. В экономике подобная же роль принадлежит простейшим экономическим моделям производства.

¹⁷ Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. М., 1964, стр. 17—18.

Наконец, источником развития математики является и сам процесс ее непосредственного взаимодействия с практикой естествознания. Приложения математической теории ставят перед ней свои особенные задачи, открывают новый взгляд на них. Новые задачи ведут и к новым обобщениям. Типичным в данном случае может служить развитие теории обобщенных функций, которая стала не только одним из ведущих математических методов в современной физике элементарных частиц, но и главнейшим направлением развития современного функционального анализа.

Все изложенное выше позволяет утверждать, что математика есть не только и даже не столько отдельная и особая научная дисциплина или область научного исследования; она представляет прежде всего определенный стиль, способ теоретического мышления, характеризующий достаточно высокий уровень его развития. Подобный взгляд на математику, конечно, не является чем-то новым, но в последнее время, в связи с приобщением к ней все новых областей исследований и ломкой в них традиций математического изоляционизма, этот взгляд на природу математики неоднократно подчеркивается. «Сейчас, как никогда, становится ясным,—пишет, например, В. А. Успенский,— что математика — это не только совокупность фактов, изложенных в виде теорем, но прежде всего — арсенал методов, и даже еще прежде того — язык для описания фактов и методов самых разных областей науки и практической деятельности. Именно этим обстоятельством и обуславливается универсальный характер применимости математики — причем применимости ее не только к техническим, физическим и другим дисциплинам, требующим часто значительного математического аппарата (и иногда с трудом отделимым от пограничных прикладных областей самой математики), а ко всем отраслям науки (если можно так сказать, к Науке в Целом), да и не только науки»¹⁸.

Общие соображения о природе математики и математизации знания необходимо учитывать и при анализе причин успеха в науке идеи вероятности. Эта идея не

¹⁸ Ю. А. Шиханович. Введение в современную математику. М., 1965, стр. 7 (предисловие В. А. Успенского).

была бы столь плодотворной, если бы не имела математических форм выражения, если бы не породилась с математикой. Исходные понятия теории вероятностей, подобно всем математическим понятиям, носят весьма абстрактный и обобщенный характер, существенно отвлечены от конкретной природы реальных явлений. И именно эта абстрактность, отвлеченность придает им силу и гибкость, не ставит в тесную зависимость от некоторой узкой области явлений, а позволяет проникнуть во внутреннюю архитектуру разнообразных классов явлений. Однако математическая природа вероятности служит необходимым условием ее успеха, но не объяснением причин успеха. Вскрытие этих причин должно включать в себя также ответ на вопрос — а почему используется и развивается именно такая математика, именно такой аналитический аппарат, именно это направление математической мысли?

3. Вероятность и развитие современного учения о принципах структурной организации материи

История современного естествознания, особенно физики, свидетельствует о том, что фундаментальные естественнонаучные обобщения предполагают и опираются на соответствующее развитие философии, ее основных положений и категорий. Лишь в этом случае сами естественнонаучные идеи получают наиболее полное обоснование и проще усваиваются.

Всем, кто в наше время интересуется философскими проблемами естествознания, хорошо известны необычайная глубина и сила воздействия теоретических концепций физики — и прежде всего теории относительности и квантовой теории — на научное мышление в первой половине нашего века. Это воздействие связано с тем, что становление рассматриваемых теорий сопровождалось разработкой новых, более обобщенных представлений о природе бытия и познания. Теория относительности привела к развитию философских представлений о пространстве и времени, в свою очередь на их основе оказалось возможным глубоко осмыслить и понять саму теорию относительности. В классической физике было общепринятым понимание пространства и времени, которое исходило еще из формулировок Ньютона и опиралось на

классическую механику. Согласно этой концепции, пространство рассматривалось какместилище всех материальных тел и процессов, абсолютно неподвижное и обладающее такими свойствами, как однородность и изотропность. Внутренняя структура пространства определялась исключительно евклидовой геометрией. Время также трактовалось абсолютно — какместилище событий, равномерно текущее от прошлого к будущему. Тем самым пространство и время выступали как абсолютные системы отсчета для всего мира в целом.

Развитие представлений о пространстве и времени выразилось прежде всего в отказе от абсолютного пространства и времени, расстояния между любыми парами точек которых всегда неизменны и не зависят от самих материальных процессов. Евклидова геометрия была низвергнута с пьедестала универсальности в определении пространственных отношений. В раскрытии свойств пространства более фундаментальное значение приобрели новые обобщенные формы геометрии. Утвердились представления об относительности одновременности. Все это позволило более глубоко понять смысл и значение основных законов и положений теории относительности, и прежде всего — смысл и значение преобразований Лоренца как ядра этой теории.

Аналогично разработка квантовой теории потребовала развития основных положений атомизма как учения о принципах структурной организации материи и наших представлений о природе закономерностей. Квантовая механика привела к синтезу прерывного и непрерывного в фундаментальных представлениях о «кирпичиках мироздания» и органически включила в наше понятие о закономерностях идею вероятности. Лишь на этой основе удалось раскрыть смысл и значение таких фундаментальных положений квантовой механики, как волновая функция, соотношение неопределенностей и др.

Процесс приращения знаний — не только прибавление некоторого нового количества информации к ранее добытому. Достаточно развитые области знания образуют определенную систему с относительно устойчивыми отношениями между компонентами. Новые теории, входя в эту систему, вызывают ее внутреннюю перестройку, тем более широкую и глубокую, чем значительнее шаг в развитии науки. Эта перестройка предполагает и со-

вершенствование самого фундамента знаний. Развитие основ знаний глубоко диалектично: оно включает их сохранение и изменение, внутреннюю преемственность и коренное обновление. При этом наиболее трудным для осмысления является момент порождения нового. Не дополнив частные идеи, теории и методы исследования дальнейшим развитием основ наших знаний, мы не сможем глубоко разобраться ни в тех, ни в других.

Совершенствование основных, принципиальных положений о материи и ее познании — неперенное условие активного отношения философии к науке. «Идя вперед, — говоря словами выдающегося советского физика И. Е. Тамма, — мы должны менять многое в самых основах наших воззрений»¹⁹. Не приняв этого условия, трудно разобраться в характере современных философских проблем и дискуссий в области естествознания.

Известна дискуссия между А. Эйнштейном и Н. Бором по вопросам толкования квантовой теории и также то, что большинство физиков-теоретиков, участвующих в разработке идей и методов квантовой теории и их приложений к разнообразным физическим задачам, приняло в этой дискуссии сторону Н. Бора. Главная причина этого лежит в общем подходе к квантовой теории. Н. Бор настаивал на необходимости ее обоснования при помощи видоизмененных теоретико-познавательных методов.

Призыв к новому стилю мышления в физике прежде всего и импонировал творческим силам. «Общее впечатление от всех работ Бора, начиная с самых первых, — пишет В. А. Фок, — их глубокая диалектичность. Бор не смущается противоречиями, возникающими тогда, когда к существенно новым явлениям природы подходят с точки зрения старых понятий и старых взглядов, а ищет разрешения противоречий в новых идеях»²⁰. Можно не соглашаться с конкретной формой разрешения противоречий, предложенной Н. Бором, но это не меняет общую ориентировку его взглядов на обоснование квантовой теории.

¹⁹ И. Е. Тамм. Нильс Бор и современная физика. — В кн.: «Развитие современной физики». М., 1964, стр. 8.

²⁰ В. А. Фок. Нильс Бор в моей жизни. — В кн.: «Наука и человечество», т. II. М., 1963, стр. 519.

Периодические преобразования в основах естественнонаучных воззрений, соответствующие разработке новых теорий, есть не что иное, как выражение того факта, что теоретическое мышление по своей природе исторично; это утверждает марксистская диалектика с самого момента своего становления. «С каждым составляющим эпоху открытием даже в естественноисторической области,— отмечал Ф. Энгельс,— материализм неизбежно должен изменять свою форму»²¹.

Подход к общим проблемам и категориям науки с точки зрения развития, свойственный диалектическому материализму, является наиболее действенным философским подходом. Он означает, что сами философские положения непрерывно совершенствуются, что в их развитии действует закономерность, упорядочивающая прошедшее, открытая в будущее и представляющая по существу своеобразные процессы обобщения. «Если *все* развивается,— отмечал В. И. Ленин,— то относится ли сие к самым общим *понятиям* и *категориям* мышления? Если нет, значит, мышление не связано с бытием. Если да, значит, есть диалектика понятий и диалектика познания, имеющая объективное значение»²².

Разработка более обобщенных представлений о природе бытия и познания есть вместе с тем разработка тех основ, на базе которых осуществляется синтез, создание динамичной картины все новых и разнообразных идей и представлений современного естествознания. Не дополняя развитие естествознания развитием философии, мы не сможем по существу понять и истолковать новые идеи и новые направления исследования в общей системе знания.

Если рассматривать новые успехи естествознания вне их связи с проблемой развития философских положений, то можно либо утонуть в частностях, либо строить на основе рассмотрения отдельных естественнонаучных идей многочисленные и независимые философские концепции, либо свести весь философский анализ к тривиальным утверждениям, что любая идея в естествознании, любое конкретное обобщение — лишь одна из форм (один из примеров, одна из иллюстраций) подтвержде-

²¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 21, стр. 286.

²² В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 229.

ния неких универсальных философских положений и категорий, которые по своей природе абсолютны и априорны. Однако общие категории и представления нам не даны априори, они являются обобщенным выражением основных достижений науки и развиваются вместе с ней. Развитие философских положений происходит на основе того, что новые открытия и теории вступают в противоречие с ранее выработанным их содержанием. Чем больше возникает подобных противоречий в развитии науки, тем больше должна «трудиться» философия, ибо это означает, что развитие естествознания поставило перед ней новые «ответственные задания», в успешном выполнении которых сказывается действенность философии. В противном случае следует признать, что эффект взаимодействия философии и естествознания крайне ничтожен. При этом, разумеется, речь идет о действенном развитии, т. е. о таком, которое включает в себя преемственность идей.

Конечно, взаимоотношения философии и естествознания в процессе развития научного познания весьма сложны, развитие одного автоматически не влечет за собой развития другого, они допускают относительную взаимную независимость. Как подчеркивал К. Маркс, «наука не только рисует воздушные замки, но и возводит отдельные жилые этажи здания, прежде чем заложить его фундамент»²³.

В современном развитии философии, которое стимулируется прогрессом естествознания, важнейшее значение имеет развитие учения о материи, и прежде всего — совершенствование наших представлений о принципах ее структурной организации. Естественнонаучные идеи и теории определяют свое место в системе знаний и получают наиболее широкое теоретическое и философское обоснование, если достаточно ясно просматривается их связь с такими представлениями. В естествознании прошлого века эти принципы нашли свое выражение в классическом атомизме. Именно здесь замыкались теоретические обобщения, берущие начало от каждой из наук. Идеи атомизма являлись основой для синтеза знаний и их своеобразной точкой опоры. Подчеркивая эту роль атомизма, Р. Фейнман писал: «Если бы в результате

²³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 13, стр. 43.

какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это — *атомная гипотеза* (можете называть ее не гипотезой, а фактом, но это ничего не меняет): *все тела состоят из атомов — маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому.* В одной этой фразе... содержится невероятное количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения и чуть соображения»²⁴.

История науки показывает, что с изменениями наших представлений о принципах структурной организации материи связаны и наиболее радикальные философские преобразования — расширение и обогащение теории познания и представлений о месте человека в этом мире. Здесь достаточно вспомнить, какое революционизирующее влияние на мировоззрение людей оказали открытия Галилея и Коперника, работы Ньютона и последующее развитие классической механики, разработка термодинамики и электродинамики, открытие закона сохранения и превращения энергии, создание теории относительности и квантовой механики, становление эволюционного учения Дарвина, генетики и молекулярной биологии и т. д. Можно сказать, что представления о принципах структурной организации материи образуют основу научного мировоззрения, и соответственно — сила и значение новых идей в естествознании прежде всего оцениваются тем, как они содействуют развитию и совершенствованию этой основы.

Идея вероятности, как мы видели, дала жизнь многим в высшей степени плодотворным концепциям современного естествознания, а потому наиболее глубокое раскрытие ее содержания включает в себя анализ тех изменений, которые она внесла в философское учение о материи и познании. Анализ природы вероятности должен вестись в плане развития современного атомиз-

²⁴ Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике, вып. 1, М., 1965, стр. 23.

ма, в плане становления современных представлений о принципах структурной организации материи.

В наши дни под воздействием бурного развития всех областей естествознания происходит интенсивная разработка общих представлений о структурной организации материи. Классический атомизм преобразуется в нескольких направлениях. Прежде всего обращает на себя внимание развитие физики элементарных частиц, из которых современная наука «слагает» весь материальный мир. Достижения физики элементарных частиц коренным образом преобразуют исходные принципы атомизма, которые ныне должны учитывать взаимопревращаемость элементарных частиц и взаимообусловленность их свойств, удивительные свойства вакуума и явления симметрии. Процессы в мире элементарных частиц, равно как и методы их познания, глубоко диалектичны по своей природе. Пути развития физического атомизма достаточно широко анализируются в специальных исследованиях по философским вопросам современной физики.

Однако современные обобщения атомизма, складывающиеся под воздействием физики элементарных частиц, не единственное направление в нынешних преобразованиях учения о принципах структурной организации материи. Материальные объекты, «составленные» из элементарных частиц, по своим свойствам и закономерностям функционирования не сводятся к свойствам и закономерностям «кирпичиков мироздания». Эти объекты обладают самостоятельной ценностью, и их исследования существенным образом развивают принципиальные положения философии.

«Одним из основных принципов жизни,— пишет, например, А. Сент-Дьердьи,— является «организация»; мы понимаем под этим, что при объединении двух вещей рождается нечто новое, качества которого не аддитивны и не могут быть выражены через качества составляющих его компонент. Это относится ко всей гамме форм организации, к объединению электронов и ядер, образующих атом, к соединению атомов в молекулы, аминокислот в пептиды, пептидов в белки, белков и нуклеиновых кислот в нуклеопротеиды и т. д.»²⁵ Если мы признаем, что объединения элементарных частиц в любые из

²⁵ А. Сент-Дьердьи. Введение в субмолекулярную биологию. М., 1964, стр. 22.

известных устойчивых материальных образований есть нечто большее, чем простая сумма или комбинация этих частиц, то уже поэтому данный факт должен найти существенное отражение в современной атомистике.

В последнем отношении важнейшее значение приобретают те обобщения в учении о принципах структурной организации материи, которые складываются в ходе исследования живых систем и систем управления вообще.

Прогресс биологии, интенсивное накопление огромной массы разнообразных экспериментальных данных, проникновение на глубинные уровни организации живого настоятельно требуют разработки обобщенных представлений о строении и эволюции живых систем. Последнее выражается в росте исследований по анализу систем, системно-структурному синтезу, теории структурных уровней в строении и развитии живых систем, принципам самоорганизации, общей теории систем и т. п.

В развитии основ системно-структурных исследований важнейшее значение имеет выработка общих представлений о материальных системах, принципах их структурной организации и функционирования. Под простейшей материальной системой понимают некоторую совокупность объектов (элементов), существенным образом связанных общностью (целостностью) поведения и функционирования в определенных классах взаимодействий. Общность поведения элементов в составе системы обусловлена внутренними свойствами и взаимодействиями между составляющими элементами. В более сложных случаях в качестве элементов системы выступают относительно простые системы.

Основные объекты исследования в современной науке представляют собой те или иные системы. В физике таковыми являются газы, жидкости, твердые тела, кристаллы, плазма, ядра атомов. Объекты исследования современной химии — прежде всего разнообразные полимеры — также представляют собой системы, образованные из громадного числа атомов. Системами являются основные объекты исследования биологии (биополимеры, клетки, организмы, виды, биоценозы), экономики (предприятие, фирма, народное хозяйство страны в целом), социологии (коллективы, социальные слои и классы, общество в целом). Даже в тех случаях,

когда исследуются, казалось бы, свойства независимых (отдельных, индивидуальных) материальных объектов. очень скоро обнаруживается, что такие объекты являются элементами определенных систем и что познание их через призму этих систем дает наиболее полные сведения об их свойствах и закономерностях. Так, например, развитие физики элементарных частиц вскрывает своеобразную взаимную обусловленность частиц, где само существование одних частиц зависит от наличия других и взаимодействия между ними.

Утверждение о том, что основные объекты современной науки суть системы, есть простая констатация факта, притом бедного. Однако из этого следует весьма важный вывод, а именно: современные методы исследования в своих основах должны содержать фактор системности (включающий в себя фактор массовости), который выступает в качестве независимого принципа, дедуктивно невыводимого из других теоретических предпосылок исследований. Более глубоких выводов из констатации этого факта получить, пожалуй, нельзя. Для этого нужен дальнейший анализ фактического материала. Системы делятся на многочисленные классы, среди которых для развития самих системных исследований в настоящее время ведущее значение имеет разработка общих представлений о так называемых сложных управляющих системах.

Представления о системах характерны не только для современной науки — они складывались по мере развития классического естествознания. Для этого периода в истории естествознания характерным было то, что системы фактически рассматривались как простые арифметические суммы или совокупности определенных объектов. Таковы, например, механические системы, теоретически представляемые как суммы материальных точек, между которыми действуют определенные внешние силы. Аналогичным образом в классической биологии сложились представления о видах (биологических системах) как о простых совокупностях организмов, а в классической астрономии — представления о галактиках как о простых совокупностях звезд.

Резкое возрастание интереса к основам системно-структурных исследований обусловлено переходом к новым классам систем, разработкой более обобщенных

представлений (понятий, моделей и т. д.) о системах. Начало этому было положено становлением того комплекса идей и направлений исследования, которые обычно характеризуются через представления об управлении. Хотя проблемы управления в известной мере исследовались еще задолго до создания электронных вычислительных машин, появление последних вскоре после окончания второй мировой войны вызвало исключительно быстрое развитие теории управления. С тех пор эта теория развивалась в органической связи с вычислительной техникой, открывшей новые возможности для моделирования самых разнообразных явлений действительности. Чрезвычайно расширился круг задач управления, интенсивно исследуемых в современной науке. Современные исследования проблемы управления представляют лучшее начало в теоретических исследованиях структуры и поведения живых систем; последние вообще главным образом и стимулируют наиболее широкую постановку самой этой проблемы.

Новые подходы к проблеме вызвали к жизни задачу разработки общей теории управления, т. е. науки об общих закономерностях строения и функционирования управляющих систем. В качестве такой науки и выступила на арену в конце 40-х годов кибернетика. Она явилась существенным обобщением в теории управления. И хотя в настоящее время все более укрепляется мысль, что проблему управления необходимо решать поэтапно, что «по мере исследования математиками, психологами и инженерами крупных систем (живых и неживых) разной степени сложности мысль об универсальном использовании какой-то одной кибернетической теории становится все менее и менее правдоподобной»²⁶, тем не менее кибернетический подход дает основу современным исследованиям этой проблемы.

Проблема управления весьма сложна. Не входя в ее рассмотрение по существу, отметим, что идея управления основывается прежде всего на определении эффективных, оптимальных способов поведения соответствующих систем. Тем самым в теоретические концепции вклю-

²⁶ Р. Беллман. Теория регулирования.— В кн.: «Математика в современном мире». М., 1967, стр. 179.

чаются понятия цели и эффективных действий, направленных на ее осуществление.

Решение проблемы управления в кибернетическом духе существенным образом включает в себя выработку математических концепций, а специфичность ее постановки раскрывается через анализ той абстрактной модели управления, которая складывается в ходе решения этой проблемы. Такими наиболее полными абстрактными представлениями являются представления о сложных управляющих системах.

Сложными управляющими системами называются системы с относительно независимым, автономным поведением подсистем (элементов) при высокой внутренней активности и избирательности, целенаправленности функционирования (поведения) системы в целом. Эти системы являются открытыми, находящимися в постоянном взаимодействии с окружением (средой) и принципиально способными решать весьма разнообразные классы задач (действовать при весьма различных обстоятельствах)²⁷. Основные идеи в разработке общего учения о сложных системах поставляют биология, кибернетика и математика.

Сложные управляющие системы — весьма типичные объекты исследования в современной науке. Разработка соответствующих представлений выражает наиболее значительный прогресс в современном развитии учения о принципах структурной организации материи. В представлениях о сложных системах существенную роль играют идеи и методы теории вероятностей, и включение вероятности в естествознание явилось по существу необходимой предпосылкой разработки этих представлений. В соответствии с этим особого внимания заслуживает анализ идеи вероятности в ее связи с процессом становления и развития наших знаний о сложных управляющих системах. Такой анализ поможет полнее раскрыть содержание самого понятия вероятности.

В настоящее время при трактовке вероятности зачатую еще сильны соображения, навеянные классической

²⁷ Характеристика структуры сложных управляющих систем приводится, например, в статье И. М. Гельфанда и М. Л. Цетлина «О математическом моделировании механизмов центральной нервной системы». — В сб. «Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем». М., 1966, стр. 14.

механикой. Другими словами, на вероятность еще довольно часто смотрят с точки зрения тех общих представлений физики о структурной организации материи, которые сложились до вхождения вероятности в физику, и практически совсем избегают анализировать ее с точки зрения идей теоретической биологии и кибернетики о структурной организации материи. Но сущность менее развитого явления наиболее глубоко раскрывается с позиций более развитого явления, что хорошо выражено в известном афоризме К. Маркса: «Анатомия человека — ключ к анатомии обезьяны»²⁸.

В настоящее время еще нельзя говорить о вполне сложившемся учении о сложных управляющих системах. Мы располагаем скорее общей программой соответствующих исследований, множеством задач, позволяющих исследовать различные аспекты этой комплексной проблемы. Получены также существенные результаты, которые дают возможность выделить эти исследования в особый класс и к рассмотрению которых мы в дальнейшем вернемся.

Весьма существенно, что в развитии общего учения о сложных управляющих системах — наследника идей классического атомизма — важнейшее значение приобрели проблемы диалектики, и прежде всего такие, как взаимопроникновение жесткого и аморфно-пластичного начал в структуре материальных систем, субординация и координация, широкая автономность элементов и гармония целого, сохранение и коренное обновление и многие другие, выражающие диалектический дух современного естествознания. Успешная разработка этих проблем в свою очередь станет предпосылкой зарождения принципиально новых идей в наиболее передовых и сложных областях исследования.

Наряду с развитием представлений о системах и методах их изучения в науке утверждалась категория структуры, имеющая исключительную широту применения в системных исследованиях. Элементы системы обладают определенной общностью поведения в некотором классе ее взаимодействий. Эта общность означает, что внутренние связи между объектами обладают определенной упорядоченностью и устойчивостью, что и вы-

²⁸ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 46, ч. I, стр. 42.

ражается при помощи категории структуры. «Структура,— утверждает Н. Ф. Овчинников,— может рассматриваться как инвариантный аспект системы»²⁹. Другими словами, категория структуры отражает наличие и закономерный характер дифференциации и интеграции во внутреннем строении систем, синтез элементов в системе. Структуры обладают известной самостоятельностью по отношению к конкретной природе элементов, что находит свое отражение в том, что математические методы исследования систем в достаточно широких пределах не зависят от природы их элементов. Изоморфизм многих классов структур — любопытнейшая и замечательная черта мира, в котором мы живем. Определение структуры как внутренней упорядоченности и устойчивости предельно абстрактно. В ходе развития наших представлений о структуре все более четко вырисовываются определенные рубежи и этапы. Ощутить этот пульс жизни и ее тенденции — методологически наиболее интересно.

Итак, вопрос о природе вероятности следует рассматривать в плане развития философского учения о принципах структурной организации материи, в плане общих представлений о сложных управляющих системах.

4. Борьба старых и новых идей

Утверждение в естествознании вероятностных представлений и методов оказалось весьма сложным и трудным делом. Процессы становления в науке новых идей, теорий и методов исследования вообще далеко не просты. Но именно они требуют самого пристального внимания со стороны философии, поскольку выражают развитие и накопление знаний и поскольку на основе их анализа вырабатывается научная теория познания. Философия — именно та наука, которая призвана содействовать становлению новых научных методов и теорий и их обоснованию.

На примере истории науки можно видеть, что философия всегда уделяла особое внимание становлению новых идей. Однако поскольку в философии в широком смысле этого слова, в «мировой» философии, до сих пор

²⁹ Н. Ф. Овчинников. Принципы сохранения. М., 1966, стр. 322.

существуют весьма и весьма различные подходы к решению самых основных, исходных положений, то обычно вокруг новых теорий разгорается острая философская борьба, что для самих новых теорий может иметь отрицательные, тормозящие последствия. Новое в естествознании обычно утверждалось в острой полемике и дискуссиях. Достаточно вспомнить борьбу мировоззрений, которая сопутствовала утверждению в науке идей Коперника и Галилея, механики Ньютона, закона сохранения и превращения энергии, эволюционного учения Дарвина, термодинамики, статистической физики и т. д. Становление новых идей и методов в науке имеет свои закономерности, свои трудности и противоречия. Некоторые общие представления об этих процессах помогут лучше понять историю становления теоретико-вероятностных подходов в науке.

Один из важнейших философских уроков развития современного естествознания состоит в том, что в достаточно развитых областях знаний фундаментально новые идеи преимущественно выступают как более обобщенные. Последнее означает, что системы понятий, выражающие новую идею, информационно более емки, отображают значительно более широкую сферу действительности, включают в себя как предельный или частный случай соответствующее содержание предшествующего уровня знаний. Процессы обобщения характеризуют наличие внутренней закономерности в развитии знаний, поскольку они представляют формы выражения нового знания, используя в качестве исходных форм уже достигнутые знания. Обобщенная природа новых идей выражается, как правило, в более абстрактных математических формах.

Развитие теоретических представлений на основе выработки более обобщенных понятий может рассматриваться как иная формулировка достаточно освещенной в нашей литературе теоретико-познавательной закономерности — принципа соответствия. Исследование этой закономерности с позиций диалектического материализма существенно продвинулось благодаря работам И. В. Кузнецова³⁰.

³⁰ См.: И. В. Кузнецов. Принцип соответствия в современной физике и его философское значение. М.—Л., 1948; *его же*. Взаин-

Вместе с тем иные формулировки могут давать и иную ориентацию в постановке и решении соответствующего комплекса проблем. В современной науке такую роль выполняют, например, идеи кибернетики, а именно использование ее языка для формулировки проблем в весьма различных областях знаний, начиная от механики и физики и кончая науками об обществе. «Теория информации и кибернетика в целом,— отмечает М. В. Волькенштейн,— дают блестящие возможности феноменологического описания организмов, четкого истолкования не только их детализированных свойств, но и целостного поведения. Уже простой перевод биологических закономерностей на язык теории информации позволяет с большой ясностью поставить задачи научного исследования и отбросить ряд ложных представлений»³¹. Делая упор на момент обобщения при рассмотрении указанной закономерности, мы тем самым ориентируемся на раскрытие природы новых идей.

Процессы обобщения ясно прослеживаются в истории естествознания. Об этом наглядно свидетельствует история развития первой строгой естественнонаучной теории — классической механики. После открытия Ньютоном основных законов механики дальнейшее ее развитие характеризуется разработкой все более абстрактных и обобщенных форм математического выражения этих законов, сопровождающейся более углубленным раскрытием сущности механического движения. Этот период представлен работами Л. Эйлера, Ж. Лагранжа, П. Лапласа, К. Якоби и У. Гамильтона. В результате было не только вскрыто более глубокое содержание теории Ньютона, но и подготовлена почва для появления новых теорий в физике. Без названных работ нельзя представить само появление квантовой механики как наиболее фундаментального обобщения современной физики в познании глубинных свойств материи (вспомним хотя бы значение вариационных принципов, гамильтонова

мосвязь физических теорий.— «Вопросы философии», 1963, № 6; *его же*. Взаимосвязь физических теорий и развитие современной физики элементарных частиц.— В кн.: «Философские проблемы физики элементарных частиц». М., 1963; *его же*. Преемственность, единство и минимизация знания — фундаментальные черты научного метода.— В кн.: «Материалистическая диалектика и методы естественных наук». М., 1968 и др.

³¹ М. В. Волькенштейн. Молекулы и жизнь. М., 1965, стр. 41—42.

формализма и представлений о лагранжианах в постановке задач квантовой теории).

Физика элементарных частиц — передовой рубеж современной физики — характеризуется интенсивными поисками дальнейших фундаментальных обобщений в наших представлениях о строении и движении материальных систем. Об этом говорят, например, проводимые в настоящее время теоретико-групповые обобщения квантовых идей.

Точка зрения обобщения дает возможность более глубокого понимания истории развития фундаментальных научных направлений исследования и состояния их современной разработки. Существенное значение такой взгляд имеет для генетики как фундамента биологии, поскольку именно на базе генетических идей преимущественно вырабатываются современные представления о закономерностях функционирования и развития биологических систем.

Здесь особый интерес представляет линия обобщения в наших представлениях о дискретных наследственных факторах — генах, которая прослеживается при движении биологии вниз по уровням организации живого, начиная с первых работ Г. Менделя. «Современная молекулярная генетика, — пишет С. И. Алиханян, — является логическим развитием хромосомной теории наследственности и теории гена, разработанных в первой половине нашего века. Молекулярная генетика подняла на более высокий уровень принципы, развитые хромосомной теорией наследственности, связала биологические процессы с химическими и физическими понятиями, многие абстрактные категории сделала конкретными»³².

Аналогично этому наиболее глубоко разобраться в сущности современной молекулярной биологии и ее фундаментальных открытий (биогенетический код, матричный биосинтез, аллостерическое регулирование, исследования по химическому мутагенезу и др.) можно прежде всего в том случае, если считать, что эти открытия основываются на более обобщенных идеях о строении и эволюции живых систем.

Особенно наглядно процесс обобщения можно показать на примере развития основных понятий математи-

³² С. И. Алиханян. Современная генетика. М., 1967, стр. 183.

ки — числа и функции. Уже из школьного курса математики хорошо известно, что развитие понятия числа шло по пути включения в него представлений об отрицательных, иррациональных и комплексных величинах. К новым, более обобщенным представлениям о числе приходили тогда, когда сталкивались с задачами, неразрешимыми на основе существовавших дотоле представлений. В этих случаях, как выразился Р. Фейнман, наука руководствуется великой идеей «шага в сторону и обобщения»³³.

Анализируя процессы обобщений в естествознании, особенно фундаментальных, связанных с разработкой новых естественнонаучных теорий, следует специально отметить их диалектический характер. Прежде всего обращают на себя внимание два момента: изменение внутренней структуры соответствующих теоретических систем и отрицание новыми идеями содержания предшествующих идей.

Становление новой фундаментальной идеи в некоторой области исследований не есть простое ее добавление к ранее сложившимся. В математическом отношении процесс становления новой фундаментальной идеи не равносителен поискам, определению некоторого добавочного члена в том математическом уравнении, которое соответствует ранее сложившимся идеям. Этот процесс не есть расширение, распространение сложившейся структуры понятий на некоторую новую область действительности, а представляет ее ломку и выработку новой системы понятий. Новая система понятий не просто отображает более широкую область действительности, но ведет к более глубокому пониманию ранее познанных явлений, поэтому такой процесс выработки новой системы понятий и называется обобщением.

Сказанное достаточно хорошо известно всем, кто знакомился с философским анализом основных идей теории относительности и квантовой физики. Эти физические теории, будучи фундаментальным обобщением физических представлений о движении и строении материи, были разработаны не как уточнение или дополнение к теоретическим моделям классической физики, а как внут-

³³ Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике, вып. 2, стр. 110.

ренное преобразование всего теоретического каркаса физики.

Обобщенные формы более емки по своему содержанию. Естественно, что специфику соответствующих идей определяет новое содержание, ранее не известное науке. Включение нового содержания происходит весьма противоречиво, содержит момент диалектического отрицания. К таким выводам нас прежде всего приводит опять-таки развитие современной физики. Классический урок тому дает исследование задачи об ускоренном движении электрически заряженных тел в связи с проблемой устойчивости атома. Рассматривается модель атома, в которой электроны движутся вокруг ядра по замкнутым орбитам. Согласно представлениям классической физики, в этом случае, как и при всяком ускоренном движении заряженных тел, электроны должны были бы непрерывно излучать электромагнитные волны, что в свою очередь должно было бы привести к потере электронами энергии и их падению на ядро. Тем самым, согласно представлениям классической физики, атом был бы неустойчив, что не соответствует действительности. Квантовая механика как обобщение учения о физическом движении, выработанное в ходе познания атомных явлений, в самих своих основах отрицает указанные представления классической физики о движении.

Аналогичным образом и другие процессы обобщения в развитии естествознания включают определенные черты диалектического отрицания старого содержания. Цикл обобщения завершается, когда новое содержание оказывается несовместимым со старым, исключает собою старое.

Следует только добавить, что процессы обобщения в общем случае исключают какие-либо стандарты и чем значительнее новое, тем дальше отходит от известных схем процесс соответствующего обобщения.

Рассматривая процессы обобщения как закономерность развития познания, следует особо отметить, что эта закономерность внутренне связана с материалистически переосмысленной и развитой К. Марксом закономерностью развития теоретического мышления, известной под названием процесса восхождения от абстрактного к конкретному. В обоих случаях мы имеем дело с фундаментальными логическими формами, в которых

выражается объективный процесс саморазвития, процесс становления органически целостных систем.

Основой утверждения в науке принципиально новых идей является непосредственная деятельность — практика постановки и решения исследовательских задач. Только погрузившись в сферу новых проблем, анализируя особенности постановки и методы решения новых классов задач, можно глубоко овладеть новыми идеями. Конечно, теоретические знания имеют свои логические средства обоснования нового, однако одних логических средств недостаточно, да они и не играют решающей роли в утверждении нового. Логика сама меняет свои формы в зависимости от прогресса науки. Проблема строгого теоретического обоснования новых идей обычно встает после того, как они реально доказали свою практическую действенность. «Теоретическое познание,— отмечает В. И. Ленин,— должно дать объект в его необходимости, в его всесторонних отношениях, в его противоречивом движении *an und für sich* *». Но человеческое понятие эту объективную истину познания «окончательно» ухватывает, уловляет, овладевает ею, лишь когда понятие становится «для себя бытием» в смысле практики. Т. е. практика человека и человечества есть проверка, критерий объективности познания»³⁴.

Попытка схватить природу новых идей с отвлеченных теоретических позиций, вне глубокого проникновения в новую сферу деятельности обычно приводит к тому, что новые идеи усваиваются с точки зрения старых, уже сложившихся концепций и представлений.

Новое в науке, как и во всей жизни, рождается в недрах старого, и в этом смысле старое обуславливает новое. Вне анализа старого невозможно объяснить возникновение нового, глубоко разобраться в последнем. Вместе с тем вхождение новых идей в ту или иную область исследований всегда связано с ломкой, ограничением и переосмыслением старых идей. Все действительно новое обладает несомненной самостоятельной ценностью. То, что обусловлено и определено другим, и только другим, и не нуждается при своем объяснении в некотором самостоятельном и независимом начале, не обладает самостоятельной ценностью.

* — в себе и для себя.

³⁴ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 193.

Следовательно, новое нельзя глубоко понять, вывести, исходя лишь из старого. Напротив, переосмыслить сами старые идеи можно, лишь усвоив новые, с позиций новых. Ведь идеи классической физики наиболее глубоко вскрываются с точки зрения современной физики или же содержание и проблемы классической генетики становятся наиболее понятными с точки зрения современной генетики. Усвоение новых идей и переосмысление старых есть единый противоречивый диалектический процесс мышления, и здесь уже недостаточны формально-логические умозаключения, на первый план выдвигается индуктивная сторона мышления, опирающаяся на интуицию, сравнения, сопоставления, анализ, синтез и т. п. При этом деятельность мышления непрерывно проверяется на опыте и корректируется им.

Рассматривая особенности теоретического овладения новыми идеями, следует специально остановиться на роли и значении общих категорий и представлений в науке. Теоретическое обоснование новых идей включает в себя подведение под них определенных наиболее общих категорий; при этом в процессе «стыковки», как уже отмечалось, последние получают развитие, совершенствуются.

Весьма существенно отметить, что синтез общего и частного исключает простую дедукцию нового содержания из общих категорий. Общее не есть простая сумма единичных явлений. Оно выражает наличие определенной организации в единичных явлениях, представляет то основание, на базе которого единичные явления объединяются в некоторую целостную систему. Однако общих категорий, как и уже сложившихся теоретических концепций, далеко не достаточно для овладения новым содержанием: основу последнего, как уже отмечалось, составляет практическая деятельность.

Задача применения общего к частному отнюдь не тривиальна и не сводится к простой дедукции, к формально-логическому выведению следствий из посылок. За это говорит уже анализ роли и значения практических занятий, необходимых и обязательных при изучении любой серьезной теоретической дисциплины. Все образованные люди знают основные законы классической механики — законы Ньютона и могут производить определенные вычисления. Вместе с тем хорошо известно, что

решение даже простейших задач по теоретической механике сопряжено со значительными трудностями, и они в своей подавляющей части не вычислительного характера. Это — трудности соотнесения условий задач (частное) с законами механики (общее), что невозможно сделать без творческого воображения и развитой интуиции. При решении практических задач, т. е. в приложениях той или иной научной теории к конкретным ситуациям, установление связи общих понятий и представлений с конкретными условиями задачи весьма разнообразно, меняется от случая к случаю, и здесь нельзя дать никаких общих правил. Конечно, существуют определенные типы задач, где этот процесс как бы алгоритмизируется. Жизнь включает в себя повторения, но развитие есть их отрицание. Назначение всех практических занятий состоит в своей основе не в выработке навыков по технике вычислений, хотя эта сторона также сама по себе важна и предполагается, а в развитии через игру воображения, аналогию и воспитание интуиции того, что зачастую принято называть индуктивной, творческой стороной мышления.

Особенно сложны процессы применения общих понятий при анализе общественных явлений. На эти вопросы неоднократно обращал внимание В. И. Ленин. Достаточно вспомнить известное предисловие В. И. Ленина ко второму изданию его книги «Развитие капитализма в России» (июль 1907 г.), в котором он подводит некоторые итоги революции 1905—1907 гг. в России. Анализ экономической основы революции, подчеркивает Ленин, показывает, что «революция в России неизбежно является, разумеется, буржуазной революцией. Это положение марксизма совершенно непреодолимо. Его никогда нельзя забывать. Его всегда необходимо применять ко всем экономическим и политическим вопросам русской революции.

Но его надо уметь применять. Конкретный анализ положения и интересов различных классов должен служить для определения точного значения этой истины в ее применении к тому или иному вопросу. Обратный же способ рассуждения... т. е. стремление искать ответов на конкретные вопросы в простом логическом развитии общей истины об основном характере нашей революции, есть опoшление марксизма и сплошная насмешка над

диалектическим материализмом. Про таких людей, которые выводят, напр., руководящую роль «буржуазии» в революции или необходимость поддержки либералов социалистами из общей истины о характере этой революции, Маркс повторил бы, вероятно, приведенную им однажды цитату из Гейне: «Я сеял драконов, а сбор жатвы дал мне блох»³⁵.

Можно сказать, что и в общем случае стремление искать ответы на конкретные вопросы в простом логическом развитии общей истины, т. е. на путях одной дедукции, есть сплошная насмешка над диалектическим материализмом.

В философско-методологической литературе последнего времени уделяется значительное внимание анализу процессов становления в науке новых идей и концепций, тех трудностей и противоречий, которые при этом возникают. Этим вопросам посвящена, например, статья Ф. Дайсона «Новаторство в физике». Говоря о трудностях становления нового в науке, Ф. Дайсон пишет: «Причина, по которой трудно охватить новую концепцию в любой области науки, всегда одна и та же: современные ученые пытаются представить себе эту новую концепцию в понятиях тех идей, которые существовали прежде. Сам открыватель страдает от этой трудности больше всех; он приходит к новой концепции в борьбе со старыми идеями, и старые идеи еще долго потом остаются языком, на котором он думает»³⁶.

Следует сразу же добавить, что новые идеи обычно не рождаются в кристально ясной форме, которую можно без особого труда распознать и увидеть. «Великое открытие, когда оно только что появляется,— продолжает далее Ф. Дайсон,— почти наверняка возникает в запутанной, неполной и бессвязной форме. Самому открывателю оно понятно только наполовину»³⁷. Свои утверждения Ф. Дайсон обосновывает путем рассмотрения ряда важнейших открытий, история которых, по его словам, показывает неспособность даже лучших умов видеть много дальше кончика собственного носа. Процесс осмысления электродинамики Максвелла был длительным и трудным

³⁵ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 3, стр. 14.

³⁶ Ф. Дайсон. Новаторство в физике.— В сб. «Над чем думают физики?», вып. 2, «Элементарные частицы». М., 1963, стр. 91.

³⁷ Там же, стр. 96.

и первоначально шел исключительно в рамках попыток разработки механических моделей электромагнитных явлений. Действительная ценность идей Резерфорда о ядерном строении атома не была сразу оценена должным образом. Квантовая механика до сих пор даже в некоторых кругах научно-технической интеллигенции представляется странной, неким теоретическим вывертом. Еще совсем недавно идея Ли и Янга о несохранении четности в слабых взаимодействиях не получала должной оценки.

Особенно сложным и трудным было утверждение в естествознании вероятностных идей, вероятностного образа мышления. В естествознание, в физику строгие вероятностные методы вошли при изучении молекулярных процессов, когда трудами Р. Клаузиуса, Дж. Максвелла, Л. Больцмана, Дж. Гиббса и других ученых в ней был создан новый раздел — статистическая механика. Проникновение вероятностных методов в физику опиралось на идеи атомизма, на атомистические представления о строении материи, что в свою очередь способствовало развитию и утверждению последних. А между тем идеи атомистического строения материи в то время в науке встретили решительное сопротивление со стороны официозного философского направления — позитивизма, и прежде всего со стороны таких его разновидностей, как эмпириокритицизм (Э. Мах) и энергетизм (В. Оствальд). Хорошо известно, сколь энергично и решительно их представители отрицали реальность атомов.

Отрицательное отношение к атомистике, ее объективным основам означало не что иное, как умаление значения вероятностных методов исследования, отрицание их самостоятельной ценности. В этом случае вероятностные идеи и методы рассматривались как вспомогательные, надобность в которых временна. В лучшем случае на них смотрели как на своего рода строительные леса, необходимые для постройки здания теории, но, коль скоро здание построено, необходимость в лесах отпадает. В подобных ситуациях новые идеи и методы утверждают себя в жизни в противовес господствующей философии, в борьбе с ней. Вероятностные идеи и методы исследования, приведшие к выработке представлений о статистических закономерностях, утверждались в науке в противовес позитивистской философии, независимо от

нее. Лишь после того, как вероятностные методы утвердились в физике, особенно в период разработки квантовой механики, позитивистская философия была вынуждена признать их самостоятельную ценность, но сделала она это путем объявления статистических закономерностей принципиально индетерминистическими, не совместимыми с идеей причинности.

В связи с этим представляет интерес высказывание Р. Мизеса, основоположника так называемой частотной трактовки теории вероятностей, о взаимоотношении философии и точных наук. Р. Мизес уделял большое внимание проблемам вероятности и статистики, хорошо знал их историю в науке. В философском отношении он находился под влиянием позитивизма. Несомненно, имея в виду это философское направление, он писал: «...философия обладает привычкой, как только те или иные результаты точных наук кажутся твердо установленными, преувеличивать их, расширять область их применения больше, чем к тому есть основание и, опираясь на всевозможные доводы, приписывать им вечную значимость. Так, благонамеренные попытки многих философов упрочить основоположения естественных наук часто фактически имеют обратное действие на ход развития науки; вместо того чтобы его стимулировать, они, напротив, тормозят его; вспомните только о том, как Кант возвел Евклидову геометрию в догмат и какие затруднения для теории относительности возникли как раз благодаря этому. Задним числом философия обычно затем примиряется с новыми учениями, как мы это в настоящее время видим на различных философских «обоснованиях» теории Эйнштейна. Кажется, что философы всегда становятся на сторону сильного — это, может быть, единственное, что делает их богоподобными. Молодая ветвь положительной науки всегда должна собственными силами пробивать себе дорогу; как только она окрепнет, философы оказывают ей помощь против ее наследников»³⁸.

Конечно, и к оценке статистических методов исследования в период их становления по-разному относились с позиций различных философских направлений. История хранит память о страстной и мужественной борьбе

³⁸ Р. Мизес. Вероятность и статистика. М.—Л., 1930, стр. 79.

Людвига Больцмана за атомизм в физике как теоретическую основу применения в этой науке вероятностных методов исследования и о его критике методологических позиций Э. Маха. Несомненно, что в этой борьбе Л. Больцмана вдохновляли идеи материалистической философии.

Познание природы переживает действительную историю, а это означает, что каждый этап познания содержит существенно неповторимые черты. Принципиально новые задачи и проблемы влекут за собой новые идеи и методы своих решений. Ранее сложившиеся теоретические концепции становятся достоянием истории. «Очень редко удается,— говоря словами К. Шеннона,— открыть одновременно несколько тайн природы одним и тем же ключом»³⁹.

Для формулировки нового содержания в общем случае исторически ранее освоенных плацдармов знания оказывается недостаточным. Здесь наиболее сильно проявляет себя творческое воображение, и выход за рамки уже освоенного просто необходим, но он может быть плодотворным, если интуиция опирается на историю, а не пренебрегает ею. Рассматривая эту деятельность человека, Ф. Дайсон вообще говорит: «Люди, хорошо знающие прошлое, слишком привязаны к нему, чтобы стать политическими лидерами или учеными»⁴⁰. Решение новых проблем представляет собой напряженную работу ума и требует конкретного анализа конкретной ситуации. Знание истории, как и методология, не дает нам отмычки для решения новых проблем познания; оно прежде всего помогает разобраться в нашем положении в этом мире. Чтобы в нем жить, нужны, очевидно, самостоятельные практические действия.

Принятие новых идей означает выработку умения мыслить непосредственно на языке этих понятий, выработку нового способа «видения» мира. На первых порах принятие новых идей во многих отношениях есть вопрос веры, вопрос доверия и интуиции. Задача строгого логического обоснования новых идей и представлений обычно встает после того, как они проявили свою жизненность

³⁹ К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963, стр. 667—668.

⁴⁰ Ф. Дайсон. Математика и физика.— «УФН», 1965, т. 85, вып. 2, стр. 354.

на практике. Основой становления нового является деятельность в новой области исследования, практика постановки и решения новых классов задач. Научиться плавать можно лишь войдя в воду, выработать умение мыслить на языке новых понятий можно лишь погрузившись в сферу новых проблем, особенностей их постановки и методов решения. Только практические действия порождают новое видение мира.

Трудности усвоения нового, пути их преодоления хорошо видны на примерах преподавания новых теоретических дисциплин в вузах. Особенно отчетливо эти трудности предстают перед теми, кто сталкивался с преподаванием или изучением основ квантовой теории. Эта теория вносит наиболее радикальные изменения в образ современного физического мышления, и овладение ее основами всегда вызывает наиболее серьезные творческие поиски и дискуссии.

«Преподавая квантовую механику,— пишет Ф. Дайсон,— я сделал одно наблюдение (знакомое мне, впрочем, и по собственному опыту изучения квантовой механики). Обучающиеся проходят стадии понимания... Студент начинает с того, что обучается приемам своего труда. Он учится делать вычисления в квантовой механике и получать правильные результаты, вычисляет сечение рассеяния нейтронов протонами и всякие другие подобные вещи... Это — первая стадия в изучении квантовой механики, и она проходит сравнительно легко и безболезненно. Потом наступает вторая, когда он начинает терзаться, потому что не понимает, что же он делает. Он страдает из-за того, что у него в голове нет ясной физической картины. Он совершенно теряется в попытках найти физическое объяснение каждому математическому приему, которому он обучился. Он усиленно работает и все больше приходит в отчаяние, так как ему кажется, что он уже просто не способен мыслить ясно... Потом совершенно неожиданно наступает третья стадия. Студент говорит самому себе: «Я понимаю квантовую механику», или, скорее, он говорит: «Я теперь понял, что здесь нечего особенно понимать». Трудности, которые казались такими непреодолимыми, таинственным образом исчезли. Дело в том, что он научился думать непосредственно и бессознательно на языке квантовой механики и больше не пытается

объяснять все с помощью доквантовомеханических понятий»⁴¹.

Возникающие при освоении нового психологические трудности настолько серьезные, что часто в мышлении исследователей они оказываются непреодолимыми. Рассматривая историю становления атомистических идей в физике на рубеже нашего столетия, историю борьбы Л. Больцмана против Оствальда и Маха, М. Планк пришел вообще к крайне пессимистическому выводу: «Обычно новые научные истины побеждают не так, что их противников убеждают и они признают свою неправоту, а большей частью так, что противники эти постепенно вымирают, а подрастающее поколение усваивает истину сразу»⁴².

С этими высказываниями созвучны и многие другие. Так, иногда говорят, что учить новому не столь уж трудно, но гораздо труднее переучивать, не столь трудно освоиться с новыми идеями, но труднее отказаться от старых. «Истинным препятствием к развитию нового образа мышления,— пишет Ст. Бир,— является не сложность проблем, а консервативность самих людей. Это обстоятельство может огорчать, но в то же время оно рождает уверенность в том, что новые взгляды содержат в себе большие возможности, ибо известно, что ничто подлинно ценное никогда легко не делается и что мощную оппозицию вызывают только фундаментальные идеи»⁴³.

Проблема становления нового в науке чрезвычайно интересна и крайне сложна. Важнейшее значение здесь приобретает анализ самого процесса творчества. До сколько-нибудь удовлетворительного его познания еще весьма и весьма далеко. Нам известны лишь некоторые внешние проявления творческой деятельности интеллекта, в познании творчества мы еще находимся в самом начале пути.

Все изложенное выше преследовало более ограниченную цель, и прежде всего ответ на вопрос: что значит понятие нечто новое в науке? Сказанное позволяет сфор-

⁴¹ Ф. Дайсон. Новаторство в физике.— В сб.: «Над чем думают физики?», вып. 2, «Элементарные частицы», стр. 92—94.

⁴² М. Планк. Научная автобиография.— В сб.: «Макс Планк. 1858—1958». М., 1958, стр. 22.

⁴³ Ст. Бир. Кибернетика и управление производством. М., 1965, стр. 12.

мулировать некоторый предварительный ответ на этот вопрос. Понять новое — это прежде всего привыкнуть к нему и уметь им пользоваться, схватить его обобщенную природу и выработать умение думать непосредственно на языке новых понятий и представлений. Основу для понимания нового дает деятельность по овладению соответствующей сферой действительности. Можно еще добавить, что осмысление принципиально новых идей в естествознании включает в себя выработку новой, более обобщенной философской модели мира и познания.

Процессы порождения новых, более совершенных форм являются наиболее существенным началом всего живого, и к раскрытию становления и сущности вероятности необходимо подходить в плане известного об этих процессах.

II

О системах

Итак, ключ к пониманию природы вероятности — в анализе современных представлений о принципах структурной организации материи, и прежде всего — в анализе принципиальных вопросов становления и развития общего учения о сложных управляющих системах. Вероятность вошла в точное естествознание на путях атомистики. Атомистические представления обосновывали вероятность, дали ей право на жизнь в большой науке. И обратно, триумф вероятностных идей доказывал жизнеспособность атомизма и вел к совершенствованию его форм. Развитие общих представлений о сложных управляющих системах неразрывно связано с приложениями теории вероятностей. Вместе с тем современные представления об этих системах шире собственно вероятностных идей, и это позволяет дать некоторое предварительное рассмотрение идей о сложных управляющих системах, что поможет упорядочить дальнейшее исследование вопроса.

Сложные управляющие системы, как уже отмечалось, характеризуются прежде всего относительно независимым, автономным поведением подсистем при высокоизбирательном функционировании систем в целом. Общие представления об этих системах находятся в процессе интенсивной разработки и еще, несомненно, далеки от завершения. И хотя в складывающихся областях знания, где все находится в процессе изменения и обновления, трудно говорить об устойчивых моментах, тем не менее уже получены такие результаты, которые имеют существенное общетеоретическое значение. Некоторые из

наиболее общих таких результатов мы и рассмотрим в этой главе; одновременно это даст нам возможность наметить пути дальнейшего анализа природы вероятности.

1. Уровни структурной организации и детерминации

К одному из важнейших позитивных результатов развития представлений о сложных управляющих системах относится разработка идеи о качественно различных и относительно автономных уровнях внутренней структурной организации этих систем, уровнях управления, регуляции и детерминации. Идея о наличии уровней в строении и организации материальных объектов и систем играет все возрастающую роль во всем комплексе современных наук, начиная от физики элементарных частиц с ее попытками «схватить» внутреннюю структуру этих «кирпичиков мироздания» и кончая анализом принципов организации и функционирования развитого социалистического народного хозяйства¹.

В развитии идеи об уровнях существенное значение приобретает выработка весьма абстрактных, обобщенных понятий, позволяющих отображать более глубокую сущность, более глубокие уровни в строении объектов исследования. Соответственно этому в рамках единой теории понятия стали распадаться на классы по степени их общности и особое внимание стало обращаться на вопросы их внутренней субординации. Субординация между понятиями в общем плане всегда признавалась, однако практически в рамках отдельной теории ее формы исследовались слабо, и зависимости между специфическими понятиями рассматривались преимущественно в плане координации. При отображении сложных, особенно высокоорганизованных систем, в теорию включаются параметры, в логическом отношении выступающие как обобщенные, интегральные характеристики понятий, выражающих нижележащую сущность; первые не просто добавляются ко вторым, а характеризуют наличие определенной упорядоченности параметров нижележащего уровня, и благодаря этой упорядоченности они обычно и

¹ См., например, статью А. М. Каценелинбойгена, Ю. В. Овсиенко и Е. Ю. Фаермана «Некоторые теоретические вопросы оптимального планирования народного хозяйства» («Вестник АН СССР», 1965, № 12).

вводятся в теорию. В качестве прообраза таких понятий могут служить, например, понятия центра масс и момента инерции, позволившие перейти от механики материальной точки к механике определенных систем материальных точек, прежде всего — к механике твердого тела.

Развитие представлений об уровнях в строении и организации материальных объектов и систем является предпосылкой раскрытия природы живого и, в частности, решения проблемы управления в живых системах.

Принципиальное значение абстрактно-обобщенных понятий и представлений подчеркивается и анализируется во многих исследованиях по проблеме управления, в частности в работах Н. А. Бернштейна по физиологии активности. Уже первые исследования в этой области привели к необходимости исходить из положения о существовании своеобразной субординационной структуры управления, присущей двигательному аппарату. Однако признание структурных уровней регуляции и управления в живых системах является лишь одним из необходимых предварительных условий подхода к исследованию проблемы активности. Другим, не менее важным условием (и результатом) этих исследований является раскрытие определенного характера этой субординации, основанного на признании ведущего значения направленно-обобщенных моделей будущего, необходимого организму. «Постановка в качестве определяющего фактора предваряющей и направляющей модели будущего,— пишет Н. А. Бернштейн,— сразу меняет порядок и взаимоотношения общего и частного. Как в восприятиях, так и в действиях организма это общее определяет собой те предпосылки, которые ложатся в основу конкретизированных проявлений физиологической активности...

Тот факт, что в нервном процессе общая задача предшествует частным решениям этой задачи, является эвристически одним из наиболее важных для современной теоретической физиологии и находится в прямой связи с тем комплексом представлений, которыми заменяются в ней концепции рефлексной мозаики.

Именно тем фактом, что организм (в высших организмах нервная система) определяет свои действия направленно-обобщенной предваряющей моделью, объясняются прежде всего явления широчайшей переключае-

мости, уже давно наблюдавшиеся и изучавшиеся в целом ряде аспектов. Все больше накапливается данных о значительной автономизации низовых управляющих систем мозга (спинальных, стволовых и др.) при выполнении целесообразных движений конечностей, глазных яблок и т. д. Такая автономизация, обеспечивающая организму высокую степень приспособительной быстроты и точности, возможна, конечно, только благодаря все той же направляющей обобщенности ведущего образа или модели. Здесь открываются новые и совершенно необъятные горизонты в смысле уяснения высокоцелесообразных черт и закономерностей систем управления, выработавшихся в организмах по ходу филогенетического развития и, по-видимому, в очень многих отношениях глубоко отличных от применяемых в искусственных самоорганизующихся системах нашего времени»².

Эти исследования по вопросу о характере взаимоотношений и взаимообусловленности различных уровней в структуре живых систем в настоящее время дополняются и получают дальнейшее развитие в разнообразных исследованиях по вопросам управления, например в работах И. Гельфанда, В. Гурфинкеля и М. Цетлина³. Согласно модели этих авторов, роль более высокого уровня управления состоит в задании так называемых платежных функций, определяющих функционирование нижележащих центров управления. После того как заданы платежные функции, нижележащие центры получают полную независимость (автономность); они сами выбирают определенные последовательности действий, чтобы «штраф» был минимальным. Представления о платежных функциях и штрафах заимствованы из терминологии теории игр, и в данном случае они оказываются весьма плодотворными для отображения ряда аспектов высших форм движения материи.

В связи с современными исследованиями живых систем стали весьма очевидными принципиальное значение факта деления понятий по степени общности в рамках единой теории, а также признание решающей роли

² Н. А. Бернштейн. На путях к биологии активности.— «Вопросы философии», 1965, № 10, стр. 72—73.

³ См.: И. Гельфанд, В. Гурфинкель, М. Цетлин. О тактиках управления сложными системами в связи с физиологией.— В сб.: «Биологические аспекты кибернетики». М., 1962.

абстрактно-обобщенных понятий в отображении их более глубоко лежащей сущности. Основные трудности представляют исследования форм взаимоотношений между понятиями различных классов и путей, механизмов перехода от одних к другим в процессе познания. При рассмотрении этих вопросов весьма существенны соображения, навеваемые развитием теории информации.

Использование идей теории информации способствует развитию наших современных представлений о структурной организации материи. Знания о материальных объектах и системах выражаются на языке свойств и некоторых других характеристик (как, например, волновых функций в квантовой теории), которые представляют собой информацию о соответствующих объектах и системах. Поскольку на языке таких характеристик выражаются поведение, взаимодействие, функционирование и структура объектов и систем, то эти характеристики можно назвать кодовой записью реального бытия соответствующих объектов и систем. Взгляд на используемые в науке характеристики материальных образований как на кодовые записи выражает прежде всего изменение названия, но если бы дело сводилось к одной только переформулировке, то о ней не стоило бы и говорить. Применение кодового языка при анализе рассматриваемых характеристик позволяет использовать определенные представления из кибернетики. Прежде всего это касается идеи о наличии различных уровней кодирования информации (различных кодов — качеств, алфавитов) и об общих закономерностях взаимосвязи низших и высших кодов — закономерностях перекодирования информации.

Наибольший интерес представляет вопрос о взаимоотношении различных кодов, об особенностях перехода от одного, низшего, кода к другому, более высокому. Известной систематизации эти вопросы подверглись, например, в работах Н. М. Амосова, который сформулировал ряд положений, определяющих перекодирование информации высшими кодами⁴. Из этих положений следует отметить следующие:

⁴ См.: Н. М. Амосов. Регуляция жизненных функций и кибернетика. Киев, 1964, стр. 19 и сл.: *его же*. Моделирование информации и программ в сложных системах. — «Вопросы философии», 1963, № 12, стр. 28.

1. Высший код получается при интегрировании информации, переданной низшим кодом, т. е. знаки высшего кода представляют собой характеристики определенных систем, образованных из знаков низшего кода.

2. Высший код является более емким, более абстрактным. При переходе к высшему коду большие порции информации заменяются одним знаком кода.

3. Выделение знаков высшего кода из порций информации, переданной низшими кодами, осуществляется не жестко детерминированным образом.

4. Из информации, представленной низшим кодом, можно вывести много высших кодов, если известны способы перекодирования. Обратная процедура невозможна без значительной потери информации.

5. Полнота информации о системе достигается только в том случае, когда она включает язык низшего кода.

6. Чем сложнее система, тем большее число уровней и способов кодирования она включает в себя.

Рассматриваемые взаимоотношения между кодами, между знаками, относящимися к различным уровням кодирования информации, по существу выражают те основные проблемы и достижения, которые встают при анализе современных процессов обобщения в развитии знаний. Знаки, относящиеся к различным уровням кодирования информации,—понятия различной общности. Во всяком случае, разработка этих представлений об уровнях кодирования опирается на соответствующие представления о понятиях. В указанном отношении достаточно вспомнить, что общие понятия выражают наличие определенной организации, определенной системы взаимосвязей в массе явлений. Общее не есть некоторое механическое объединение единичных явлений. Общие понятия дают те основания, которые ведут к синтезу знаний в целостную систему, но этот синтез осуществляется благодаря и на основе той структурной организации, через которую каждое отдельное включается в жизнь. Взаимоотношение отдельного и общего внутренне диалектично. «Отдельное,— писал Ленин, отмечая эту диалектику,— не существует иначе как в той связи, которая ведет к общему. Общее существует лишь в отдельном, через отдельное. Всякое отдельное есть (так или иначе) общее. Всякое общее есть (частичка или сторона или сущность) отдельного. Всякое общее лишь приближи-

тельно охватывает все отдельные предметы. Всякое отдельное неполно входит в общее и т. д. и т. д. Всякое отдельное тысячами переходов связано с другого рода отдельными (вещами, явлениями, процессами) и т. д. *Уже здесь* есть элементы, зачатки понятия *необходимости*, объективной связи природы etc. Случайное и необходимое, явление и сущность имеются уже здесь...»⁵

Характер взаимоотношений между параметрами, выражающими различные уровни кодирования информации, уже давно угадывался при анализе взаимоотношений менее общих и более общих понятий. В частности, эти аспекты можно обнаружить и в неоднократно рассматриваемом в истории философии ряду понятий «яблоко» — «плод» — «органическое тело» — «материальный объект». Суть дела раскрывается уже при анализе взаимоотношений понятий «яблоко» и «плод»: как они определяются, как перейти от одного к другому (например, существует ли жестко определенный дедуктивный путь от понятия плода к понятию яблока?) и т. д.

Тот факт, что в развитии познания, в раскрытии более глубокой сущности объектов исследования вырабатываются все более абстрактные и обобщенные понятия, существенным образом сказывается на способах включения новых понятий в теоретические системы. Пусть мы рассматриваем некоторые теоретические представления и ставим вопрос: что произойдет с ними в случае проникновения познания в более глубокую сущность соответствующих объектов исследования? Другими словами, как включаются в теоретические представления новые параметры (понятия), характеризующие более глубокую сущность рассматриваемых объектов? Включение в теорию таких параметров отнюдь не ведет к простому их прибавлению к уже имеющимся. Эти параметры в логическом отношении выступают как обобщенные, интегральные характеристики параметров, выражающих близлежащую сущность: первые не просто добавляются ко вторым, а характеризуют наличие определенной упорядоченности в параметрах исходного уровня; благодаря и на основе раскрытия этой упорядоченности они обычно и вводятся в теорию. Именно таким путем в квантовую физику вводились представления о квантовых чис-

⁵ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 318, 321.

лах, например спине, а в современную биологию — представление о гене. Еще более радикальные изменения, как уже отмечалось, произошли при переходе физики к исследованиям микропроцессов: квантовые идеи стали не просто добавлениями к теоретическим системам классической физики, они произвели перестройку всех этих систем.

Весьма существенно, что в случае сложных управляющих систем связи между кодами, между понятиями различной степени общности относительно независимы, автономны. Каждый код (уровень кодирования информации) обладает собственными «степенями свободы». Наличие автономных уровней кодирования информации существенным образом проявляется в особенностях, характере, детерминации свойств и поведения объектов в сложных системах: детерминация также носит поэтажный характер. Поскольку высший код получается при интегрировании информации, переданной низшим кодом, то и детерминация, устанавливаемая между характеристиками высшего кода, лишь интегральным образом определяет характеристики низшего кода. Правила перекодирования выражают собой рамки и характер автономности. Теоретические (да и экспериментальные) исследования в биологии основываются на признании определенной автономности во взаимосвязях молекулярных компонентов в составе клетки, клеток — в организме, организмов — в виде, видов — в биоценозе. Только на базе признания такой автономности возможно исследование и раскрытие основной специфической черты живых систем — внутренней активности, их целенаправленного функционирования и поведения.

Итак, представления об уровнях кодирования информации, и особенно о правилах перекодирования, перехода от низших кодов к высшим и обратно, являются отображением особенностей современных исследований принципов структурной организации материи и играют важнейшую методологическую роль в раскрытии последних. Подобная проблематика встает в чрезвычайно широком круге исследований, например при рассмотрении взаимоотношений между физическими и химическими, а также между физико-химическими и биологическими понятиями и теориями, причем вторые выступают в логическом отношении как обобщенные характеристики первых.

Идея об автономных уровнях кодирования и правилах перекодирования позволяет глубже понять сущность самого процесса математизации знаний. Выше уже отмечалось, что сущность математизации состоит в выработке определенного языка, стиля, образа теоретического мышления, достаточно развитого. С точки зрения идеи об уровнях кодирования информации и детерминации, процесс математизации знаний в некоторой области действительности означает, что соответствующие знания достигли такого высокого уровня развития, что для внутренней их организации необходимо выделение из всей имеющейся информации высших кодов. Высшие коды как более абстрактные и обобщенные представляют собой собственно математику. Исследование зависимостей между знаками высших кодов в пределах одних этих высших кодов составляет предмет исследования чистой математики. И такие исследования возможны в силу относительной автономности различных кодов. Вместе с тем, как уже отмечалось, полнота информации о некотором реальном объекте исследования достигается лишь в том случае, если при теоретическом воспроизведении объекта используются все коды, в том числе и низший. Излишне добавлять, что с материалистической точки зрения выделение высших кодов имеет объективную основу: оно означает проникновение знаний в более глубокую сущность исследуемых объектов, а взаимоотношение между различными кодами (правила перекодирования) отображает внутреннее строение этих объектов.

2. Исходные задачи системного синтеза

Развитие представлений о тех или иных системах неразрывно связано с развитием и становлением методов их исследования. Более того, анализ особенностей методов исследования этих систем образует необходимую предпосылку, необходимое условие для выработки самих представлений о системах. Разработка методов исследования некоторого объекта является ведущей стороной и зачастую опережает разработку его теории. Эта особенность становления новых представлений перекликается с приведенным выше наблюдением Ф. Дайсона о стадиях понимания квантовой механики студентами. Студент начинает овладевать квантовой механикой с момента

овладения квантово-механическими методами решения задач. В этих случаях к раскрытию сущности приходят через овладение соответствующими методами.

Структурный подход к исследованию систем характеризуется, как правило, совместным рассмотрением их строения и функционирования, что является специфичным для собственно системных исследований. Чтобы оттенить эти особенности системно-структурных методов, рассмотрим два класса других, исторически более ранних. Первые из них называют макроскопическими или чисто функциональными. В данном случае в основу кладется познание свойств и поведения систем в целом, т. е. познание таких свойств, которые характеризуют общность поведения элементов систем в их внешних взаимодействиях. Здесь может учитываться тот факт, что системы образованы из отдельных элементов, однако природа внутренних сил, законы взаимодействия и взаимосвязей между элементами и соответствующие их свойства (что и обуславливает их связь в системе) остаются в своей основе неизвестными. Так, например, нам известно, что ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, однако, поскольку природа ядерных сил пока не раскрыта, в настоящее время еще нет достаточно удовлетворительной теории ядра как теории определенного класса систем. Наличие некоторых взаимосвязей между элементами системы выводится из рассмотрения поведения системы в целом под влиянием определенных воздействий и оценивается параметрами, относящимися к системе в целом и определяемыми непосредственно из опыта. Этот путь познания, когда в умозаключениях идут от общих свойств системы к свойствам ее элементов, можно также назвать подходом к исследованию систем извне.

Одним из простейших примеров указанных методов исследования систем является исследование упругих тел в механике. При изучении упругих свойств в механике⁶ тела рассматриваются как системы, состоящие из некоторых элементов, которые могут под действием сил перемещаться относительно друг друга. Каждый такой элемент характеризуется массой и объемом. Предполагается, что между элементами действуют определенные силы

⁶ См., например: С. Э. Хайкин. Физические основы механики. М., 1963, гл. XIV.

(силы упругости), которые, однако, не связываются с наличием каких-то известных свойств элементов, т. е. природа сил остается не раскрытой. Силы, действующие со стороны смежных элементов на некоторый выделенный, рассматриваются как внешние. Следствием этих представлений является то, что упругие свойства тел характеризуются некоторыми константами упругости, которые характеризуют системы (тела) в целом и определяются путем прямого обращения к опыту. Упругие свойства изотропного тела можно охарактеризовать двумя константами — модулем Юнга и модулем сдвига, а упругие свойства анизотропного тела в самом общем случае — 21 константой. Значение констант различно для различных материалов. Сказанное означает, что представления об элементах в данном примере исследования систем играют второстепенную и подчиненную роль в общем определении свойств системы.

Макроскопические методы в современной науке находят весьма широкое применение и при исследованиях разнообразных систем. В кибернетике такие методы используются как при исследовании самих сложных систем, так и при независимых исследованиях подсистем (элементов). При этом для характеристики этих методов в кибернетике выработался даже специальный язык, в основе которого лежат представления о «черном ящике»⁷. В этих случаях системы (или подсистемы) рассматриваются как черные ящики, т. е. внутреннее строение систем предстает перед нами как «строго опечатанное». Системы исследуются по их функциональному поведению: они подвергаются определенным воздействиям (данные на входе систем), и регистрируются их ответные реакции (данные на выходе); полученные результаты кодируются на языке свойств системы. «Теория «черного ящика», — отмечает У. Р. Эшби, — есть просто теория реальных объектов или систем, в которой уделяется особое внимание вопросу о взаимосвязи объекта и наблюдателя, вопросу о том, какая информация исходит от объекта и как она получается наблюдателем. Таким образом, теория «черного ящика» есть попросту изучение отношения между экспериментатором и окружающей его средой, когда особое внимание уделяется потску инфор-

⁷ См.: У. Росс Эшби. Введение в кибернетику. М., 1959, гл. 6.

мации»⁸. Функционально зачастую устанавливается и сам факт внутренней дифференциации систем.

Макроскопические методы исследования сложных систем приводят к весьма существенным результатам как в познании свойств систем в целом, так и относительно составляющих их элементов. Так, например, У. Росс Эшби, рассматривая сложные системы по существу в рамках указанных методов, получает достаточно определенные выводы о свойствах их подсистем: «...каждая часть имеет как бы право вето для состояний равновесия всей системы. Никакое состояние (всей системы) не может быть состоянием равновесия, если оно неприемлемо для каждой из составных частей, действующих в условиях, создаваемых другими частями»⁹, поведение систем не определяет однозначным образом связей между ее частями¹⁰ и т. д.

Вопрос о возможностях макроскопических методов в кибернетике и тех задачах, которые решаются на этом пути, подвергался систематическому рассмотрению в работе А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского «Теоретические проблемы кибернетики»¹¹.

Авторы отмечают, что методами макроподхода решаются такие классы задач, как выяснение потоков информации, раскрытие кода информации, выявление функции управляющей системы и изучение функционирования систем. Вместе с тем они отмечают, что в рамках кибернетики «макроподход является ограниченным, поэтому он не дает возможности полностью уяснить строение управляющей системы. Так, очевидно, что макроподход почти не дает никакого представления о структуре схемы управляющей системы. Как правило, он не позволяет найти также и полную функцию управляющей системы, ибо невозможно внешним экспериментом обнаружить характер изменений состояний внутренней памяти и наличий преобразований схемы (какое, например, имеет место при работе программы). Несмотря на все это, макроподход имеет большое значение в исследовании управляющих систем, особенно на первой стадии»¹².

⁸ Там же, стр. 159.

⁹ Там же, стр. 123.

¹⁰ См. там же, стр. 136—137.

¹¹ См. «Проблемы кибернетики», вып. 9, М., 1963, стр. 5 и сл.

¹² Там же, стр. 13.

Следует отметить, что движение познания в глубь материи, поиски ее фундаментальных единиц всегда начинались на путях чисто функциональных методов исследования. Сама идея атомизма явилась великой догадкой древних, основанной на наблюдениях обычных превращений веществ. Представления об атомах и молекулах вошли в кинетическую теорию газов гипотетически, на основе феноменологического анализа химических и термодинамических процессов. Становление атомистических идей в химии тоже шло по этому пути. Существование генов было предсказано на основе формальной генетики задолго до того, как началось их непосредственное исследование. Гипотеза кварков, выдвинутая в настоящее время в физике элементарных частиц, также основывается на исследованиях внешних проявлений свойств симметрии сильно взаимодействующих элементарных частиц. «Прозрение внутренних причин явлений по их внешним проявлениям,— говорит Я. Б. Зельдович,— может быть, и есть самое важное, самое дорогое и увлекательное во всей науке»¹³.

Другой путь познания систем можно назвать строго микроскопическим, или подходом изнутри, когда исходят из знаний только об объектах, образующих систему. В данном случае свойства, характеризующие общность поведения элементов системы, стремятся целиком и полностью вывести из свойств ее составляющих, и, следовательно, предполагается, что свойства системы в целом не оказывают обратного влияния на характеристики ее составляющих. Строго микроскопические методы весьма широко распространены при исследованиях систем типа механических. Они имеют важное значение и при исследованиях сложных управляющих систем в кибернетике. В упомянутой работе А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского к задачам, решаемым на путях микроподхода, относятся такие, как выявление элементов системы, связей между элементами, вопросы алгоритмизации, анализа, синтеза и эволюции систем управления.

Следует специально подчеркнуть, что в общем случае чисто микроскопический путь познания систем предпола-

¹³ Я. Б. Зельдович. Классификация элементарных частиц и кварки «в изложении для пешеходов». — «УФН», 1965, т. 86, вып. 2, стр. 313.

гает, что свойства их элементов могут быть достаточно полно познаны вне и независимо от их вхождения в эти системы, и именно в этом заключается его слабость. Из общих положений теории познания следует, что изучение свойств объектов должно включать в себя знание того, какие системы могут образовывать эти объекты и какое влияние они оказывают на структуру систем. Соответствующие свойства элементов систем выражаются через характеристики самих систем, в том числе и через характеристики их структуры. Другими словами, познание объекта включает в себя знание определенных свойств тех систем, в которые он может входить. Отсюда следует, что изучение свойств и законов поведения объекта в составе систем требует прямого, непосредственного изучения самих систем.

Конечно, можно сказать, что элементы содержат как бы в потенции все те характеристики, которые исчерпывающим образом определяют поведение систем. Однако потенциальные возможности раскрываются по их проявлениям, а потому исследование потенциальных возможностей объектов в составе систем основывается на прямом и непосредственном анализе последних. Кроме того, чисто микроскопический путь познания систем фактически основывается на предположении, что, входя в систему, объект не меняет своих свойств, т. е. что познание объекта в составе систем и независимо от его вхождения в них дает идентичные результаты. Такое предположение весьма дискуссионно, и в дальнейшем на его рассмотрении мы специально остановимся.

Исследование элементов вне и независимо от их вхождения в системы составляет необходимый этап исследования реальных систем даже в теоретически весьма развитых случаях. Так, экспериментальные исследования свойств элементарных частиц в современной физике также являются относительно независимыми, хотя во взаимозависимости и взаимообусловленности свойств элементарных частиц не сомневаются. Современные биофизические исследования живых систем также во многом представляют независимое исследование их элементов. Прежде чем говорить о системе именно как о таковой, необходимо что-то знать о составляющих ее объектах самих по себе, с соответствующей поправкой на общий уровень знаний.

Наконец, третий путь познания систем, который можно назвать синтезирующим, или собственно системным, или структурным, объединяет на новой основе оба рассмотренных пути подхода к исследованию систем — извне и изнутри. Последние два дополняют друг друга, а их синтез представляет наиболее естественное, адекватное выражение наших знаний о системах. В качестве наиболее ярких примеров данного метода исследования и выражения наших знаний о системах выступают знания о механизмах, машинах, автоматах и других создаваемых искусственно человеком системах и устройствах. В этих случаях существенным образом учитываются взаимозависимость и взаимообусловленность параметров систем в целом и свойств отдельных элементов, образующих эти системы. Укажем, например, на электрические и электронные цепи и схемы. Здесь в качестве элементов выступают источники напряжения и тока, сопротивления, индуктивности, емкости, разнообразные электронные приборы (лампы, трубки, реле и др.). Хорошо известно, что свойства цепей и схем в значительной мере определяются параметрами и взаимодействиями между элементами. Требования, которые предъявляются к системам, часто обуславливают разработку новых элементов и принципов их взаимосвязи (схем). С другой стороны, разработка новых элементов может вызвать создание новых систем. Знание о них в данном случае существенным образом включает в себя знание о параметрах системы в целом и знание параметров отдельных элементов и узлов; эти два вида параметров обуславливают и дополняют друг друга.

Отличительная черта указанно класса материальных систем состоит в том, что они являются искусственными, делом рук человека. Познание систем и элементов в этих случаях идет рука об руку с их конструированием, а познание некоторых процессов дополняемое их воспроизведением, представляет высшую форму познания.

При рассмотрении структурных методов познания систем, при собственно системном подходе к ним важнейшее значение приобретает анализ способов, принципов связи макро- и микрохарактеристик систем; т. е. характеристик систем в целом и отдельных элементов. Объективной основой этого синтеза является структура систем, а разработка путей и методов синтеза означает

познание структуры. Структура выражает особенности состава и способ или законы взаимосвязей элементов в целом, устойчивую систему отношений между элементами. Задача структурных исследований состоит как раз в том, чтобы раскрыть взаимозависимость и взаимовлияние характеристик системы в целом и ее составляющих, чтобы определить пригнанность и согласованность действий элементов в составе устойчивого целого.

Понятие структуры, как уже отмечалось, является ведущей характеристикой систем: оно входит в исследования вместе с развитием представлений о системах и характеризует их с точки зрения единства внутренней расчлененности и связности.

При чисто микроскопическом подходе к исследованию систем соответствующие области действительности рассматриваются преимущественно с точки зрения их расчлененности. Макроскопический подход характеризует действительность и соответствующие системы преимущественно с точки зрения связности. То принципиально новое, что вносит структурный подход, заключается во взгляде на системы с точки зрения внутреннего диалектического единства расчлененности системы на составляющие элементы и их внутренней, взаимообуславливающей связности. Можно также сказать, что структурный подход к исследованию систем характеризует их с точки зрения внутреннего единства прерывности и непрерывности внутреннего строения.

С развитием представлений о системах развивались и представления о структуре, изменялась их относительная роль в системных исследованиях. В простейших механических случаях (первоначально) представления о структуре играли подчиненную, второстепенную роль. Сами характеристики, получаемые независимым образом при макро- и микроподходах, по существу определяют характер их синтеза, и в результате не вносятся существенных корректив в наши исходные знания о системе в целом и об элементах. Значение макрохарактеристик в этих случаях просто равняется сумме значений соответствующих микрохарактеристик (свойство системы в целом рассматривается как простая сумма соответствующих свойств элементов). Подобные системы часто называют суммативными (или аддитивными по своим свойствам).

Для сложных систем значительно трудней оказываются и проблема синтеза элементов в целом. В этих случаях методы, пути синтеза не определяются только знанием микро- и макрохарактеристик самих по себе. Здесь необходимы еще самостоятельные исследования структуры. При этом в процессе синтеза происходит значительная корректировка, взаимная подгонка макро- и микрохарактеристик, означающая более глубокое познание свойств систем и элементов. Соответственно этому решающее значение приобретает выработка прямых непосредственных методов системно-структурных исследований, которые с самого начала учитывают и фактор массовости, и фактор автономности элементов, и наличие уровней во внутренней организации систем, и их открытый характер, и целенаправленное поведение во внешней среде.

Вероятностные методы исследования, как мы увидим в дальнейшем, дают первый набросок подобных методов. Существенно при этом, что учет идеи об уровнях во внутреннем строении систем приводит к тому, что связи между характеристиками систем, и прежде всего между характеристиками элементов, носят не прямой, а глубокий, опосредованный характер: они замыкаются на категории структуры, минуя представления о которых, эти связи невозможно установить. Опосредованный характер рассматриваемых связей играет фундаментальную роль в системно-структурных исследованиях, в частности, признание этого факта составляет необходимое условие раскрытия природы относительной автономности элементов в составе сложных систем.

Сказанное можно пояснить простым примером. Пусть рассматривается функционирование некоторой группы людей. Если отношения между лицами внутри этой группы строятся по принципу прямых личных зависимостей друг от друга, то система будет вести себя скованно. Напротив, если связи будут опосредованы идеей служения некоторому общему делу, то элементы приобретают максимальную активность и автономность при сохранении единства и целенаправленного функционирования всей системы.

Согласно современным представлениям, целесообразное поведение сложных управляющих систем порождается целесообразным поведением образующих их отно-

сительно автономных подсистем¹⁴. Соответственно этому при моделировании на языке теории автоматов строения и поведения живых систем им сопоставляются не отдельные автоматы, а их разнообразные системы, и громадное значение приобретают решения задач на игры автоматов. Действия каждой подсистемы в конечном счете определяются работой всей сложной системы, в которую она входит, и внешней средой, но в каждый момент времени каждая подсистема решает свою «личную», «частную» задачу. Синтез взаимодействия подсистем в таком случае определяется высшими уровнями кодирования информации: заданием, законами изменения и корректировки платежных функций (матриц). Эти взаимодействия носят преимущественно информационный характер. Они выполняют скорее роль пускового стимула, передают команды о включении тех или иных рабочих матриц, платежных функций, а затем подсистемы функционируют уже достаточно самостоятельно.

Благодаря такой иерархии достигаются надежность и относительная простота управления: отпадает необходимость детального управления каждой подсистемой, задание платежных функций обеспечивает не только самостоятельность поведения подсистем, но и наиболее рациональное решение поставленных перед ними задач.

Сказанное в этом параграфе об особенностях и характере синтеза в сложных системах представляет, конечно, лишь беглые наброски самых исходных положений. Дальнейшее рассмотрение этих вопросов возможно на базе последовательного углубления в сущность конкретных проблем синтеза, встающих в развитии системных исследований.

3. Объект как элемент системы

Развитие системных исследований существенным образом видоизменяет характеристику индивидуальных, отдельных объектов — они рассматриваются как элемен-

¹⁴ В указанной связи важнейшее значение имеют исследования Н. А. Бернштейна по физиологии активности и работы школы И. М. Гельфанда по моделированию структурно-функциональной организации ряда биологических систем (см., например, сборник «Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем». М., 1966).

ты определенных материальных систем, т. е. их существование и свойства с самого начала ставятся в зависимость от других элементов этих систем.

Строгое познание структурной организации материи началось с познания отдельных объектов самих по себе. Механика как первая математизированная естественнонаучная теория начала свое развитие с изучения законов пространственного перемещения индивидуальных макротел. В учении об электричестве отправной точкой явилось также исследование свойств и законов взаимодействия отдельных заряженных тел. Химия исходит из изучения свойств отдельных веществ. Биология — из исследования свойств отдельных представителей растительного и животного миров. Соответственно этому первоначальному подходу науки к изучению явлений природы материальный мир вначале «делился» на отдельные объекты, существующие абсолютно независимо друг от друга, как бы только по собственному праву. В этих случаях объект отчуждался от всего остального мира, ему давалось название, и он познавался в своих отношениях ко всему остальному миру в целом как существующий сам по себе.

Эта особенность первоначального периода развития естествознания наглядно иллюстрируется самим первоначальным, классическим, толкованием механики. Как известно, основные механические характеристики тел — масса, пространство и время — в классический период физики трактовались абсолютно. Масса рассматривалась как мера количества материи, заключенного в данном теле испокон веков и не зависящего ни от чего. Основу воззрений на пространство и время составляли представления о них как об абсолютных сущностях, не зависимых от вещей. Пространство рассматривалось как беспредельная пустота (вместилище вещей), время — как непрерывная длительность. Соответственно этому свойства тел в механике определялись по их отношению ко всему остальному миру, рассматриваемому интегральным способом; масса — это некоторое количество материи, приходящееся на данное тело, пространственная характеристика определяет его место, а временная характеристика — длительность его существования в мире в целом. Другими словами, первоначальное познание объекта основывается на таком его выделении из всего

окружающего мира, когда еще не придается существенного значения факту взаимосвязей материального мира; объекты мира берутся преимущественно с точки зрения его расчлененности.

Макротело в механике выступает как объект, отчужденный от всего остального мира и познаваемый в этом «гордом» отчуждении; взаимодействие нескольких макротел друг с другом (посредством столкновения) трактуется как взаимодействие отчужденных объектов. Здесь нужно оговорить следующее. Познаются отчужденные объекты, конечно, на основе их взаимодействия — в результате взаимодействия, т. е. относительно. Однако природа объектов, их свойства трактуются абсолютно, как не зависимые друг от друга.

В этой связи небезынтересно вспомнить известное высказывание Ф. Энгельса: «Когда мы подвергаем мысленному рассмотрению природу или историю человечества или нашу собственную духовную деятельность, то перед нами сперва возникает картина бесконечного сплетения связей и взаимодействий, в которой ничто не остается неподвижным и неизменным, а все движется, изменяется, возникает и исчезает... Несмотря, однако, на то, что этот взгляд верно схватывает общий характер всей картины явлений, он все же недостаточен для объяснения тех частных, из которых она складывается, а пока мы не знаем их, нам не ясна и общая картина. Чтобы познавать эти частности, мы вынуждены вырывать их из их естественной или исторической связи и исследовать каждую в отдельности по ее свойствам, по ее особым причинам и следствиям и т. д. В этом состоит прежде всего задача естествознания и исторического исследования... Настоящее... естествознание начинается только со второй половины XV века, и с этого времени оно непрерывно делает все более быстрые успехи. Разложение природы на ее отдельные части, разделение различных процессов и предметов природы на определенные классы, исследование внутреннего строения органических тел по их многообразным анатомическим формам — все это было основным условием тех исполинских успехов, которые были достигнуты в области познания природы за последние четыреста лет»¹⁵.

¹⁵ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 20.

По мере развития естествознания все более обнаруживалась недостаточность представлений об отчужденных объектах для выражения структурной организации материи. Индивидуальный отчужденный объект все более стал рассматриваться как представитель определенного класса (системы) объектов, само существование которых взаимообусловлено. Свойства отдельных объектов начинают все в большей степени рассматриваться не просто как их индивидуальные «врожденные» свойства, а как такие, которые существенным образом обусловлены взаимодействием с другими объектами.

Особенно наглядно этот процесс, как и вообще диалектика, проявляется в наиболее сложных случаях. В биологии, например, нельзя глубоко понять природу организмов, рассматривая их как индивиды, существующие лишь по собственному праву и своими свойствами обязанные лишь самим себе; без представлений о видах и взаимообусловленности индивидов внутри видов мы не можем объяснить такой простой и очевидный факт, как деление организмов на мужские и женские особи.

В современной биологии особое внимание обращают на изучение молекулярных компонент клетки, при этом наиболее полная их характеристика дана в том случае, когда раскрыты их место и роль в структуре и жизнедеятельности клетки. Элементарная частица в современной физике рассматривается как определенный элемент всего семейства элементарных частиц. Нельзя объяснить происхождение и развитие сознания человека, рассматривая его вне и независимо от общества.

Аналогично и в социологии — личность можно охарактеризовать, оценить только на основе ее роли в определенной структурной системе: как члена семьи, члена некоторого производственного коллектива, по ее принадлежности к определенной социальной прослойке или классу и т. п. Характеристика человека не как элемента некоторой структуры, т. е. вне общественных групп, практически невозможна.

Выработка представлений о системах и об отдельном объекте как элементе структурных систем выражает одно из важнейших достижений современной атомистики. «Прежняя атомистика,— пишет И. В. Кузнецов,— рассматривала наиболее простые из микрочастиц как данные готовые, факт существования которых не требо-

вал никаких объяснений. Они существовали — и этого было достаточно. Но чем обусловлено их существование, почему они именно такие, а не какие-либо иные? Почему их столько, а не больше и не меньше? На эти и подобные им вопросы не только не было какого-либо ответа, но они даже не могли быть поставлены в сколько-нибудь ясной и отчетливой форме в качестве естественнонаучной проблемы.

Иным стало дело в современном атомном учении. Наряду с задачами экспериментального исследования конкретных физических свойств отдельных «элементарных» частиц, определения величины их масс, зарядов, спинов, периодов их распада и т. п., во весь рост встала задача совершенно нового характера. Эта задача — отыскание общего закона, определяющего сам факт существования «элементарных» частиц, обуславливающего наличие у него данных физических свойств, объясняющего, почему частицы именно таковы, как они есть. Указанная задача сейчас еще не может считаться решенной. Но уже сама возможность ее постановки как конкретной естественнонаучной проблемы свидетельствует об огромном прогрессе атомного учения, о поразительном успехе теоретической физики.

Что означало бы с философской точки зрения открытие такого закона? В известном смысле оно означало бы нечто подобное открытию Д. И. Менделеевым периодического закона химических элементов. С открытием Менделеева стало ясно, что химические элементы — не обособленные, друг с другом не связанные «кирпичики мироздания», каждый из которых ведет свою собственную, от других не зависимую жизнь, а образует единую систему материальных объектов, связанных глубокой внутренней связью. Эта система, эта связь такова, что по отношению к ней каждый отдельный элемент является чем-то подчиненным, чье существование в том или ином виде, чьи свойства определяются структурой всей системы в целом. И хотя для нахождения этой системы в свое время надо было найти и исследовать отдельные химические элементы, отныне основой изучения и понимания мира химических элементов становятся не сами по себе изолированно существующие элементы, а их целостное единство, их совокупная материальная связь, их единая система.

Аналогично дело обстоит и с «элементарными» частицами материи. Та «простая структура», исходя из которой современные физики стремятся вывести заключение о существовании различных видов частиц и о наличии у них определенных свойств, выражает некоторую систему материальных связей, по отношению к которой отдельные частицы выступают как подчиненные, как обусловленные общими особенностями этой системы»¹⁶.

Положение о взаимообусловленности и взаимозависимости свойств отдельных объектов, образующих системы, и самого факта их существования составляет одно из важнейших достижений современной атомистики. Глубокое развитие эта идея получает в современной физике элементарных частиц, что находит свое отражение в разработке представлений о новых квантовых числах (например, странности), в развитии теории симметрии сильно взаимодействующих частиц, в гипотезе «зашнуровки» и вообще во всем богатстве теоретических положений и экспериментальных фактов физики элементарных частиц. «Согласно гипотезе «зашнуровки» предполагается,— пишут М. Гелл-Манн, А. Розенфельд и Дж. Чу,— что каждая сильно взаимодействующая частица является связанным состоянием тех каналов, с которыми она находится в коммуникации, а ее существование полностью обязано силам, связанным с обменом сильно взаимодействующими частицами, которые находятся в коммуникации с перекрестными каналами. Каждая из этих последних частиц в свою очередь обязана своим существованием группе сил, в которую первая частица вносит свой вклад. Другими словами, каждая частица помогает создавать другие частицы, которые в свою очередь образуют ее самое. В такой замкнутой и в высшей степени нелинейной ситуации вполне может оказаться, что не существует свободных или произвольных переменных вообще (за исключением чего-то, что устанавливало бы шкалу энергий) и что единственным самосогласованным набором частиц является тот, который реализуется в природе»¹⁷.

¹⁶ И. В. Кузнецов. В чем прав и в чем ошибается Вернер Гейзенберг?— «Вопросы философии», 1958, № 11, стр. 77.

¹⁷ М. Гелл-Манн, А. Розенфельд; Дж. Чу. Сильно взаимодействующие частицы.— «УФН», 1964, т. 83, вып. 4, стр. 723.

Подобные утверждения свидетельствуют о существенном изменении наших представлений об элементарности. Если в классической физике считалось, что представления об элементарных объектах складываются вне и независимо от исследования тех сложных образований, которые они могут составлять, то теперь представления об элементарном и сложном взаимодополняют и взаимообуславливают друг друга. Природу элементарных частиц невозможно понять вне их глубокой внутренней взаимосвязи и взаимопревращений.

Следует подчеркнуть, что познание отдельных объектов в составе систем, через призму систем, есть путь к более глубокому проникновению в сущность этих объектов. На первый взгляд может показаться, что переход к познанию объекта как элемента материальных систем не обязательно ведет к более глубокому познанию его внутренних свойств и его сущности, поскольку в данном случае наши интересы направлены прежде всего на вскрытие структурных взаимоотношений в системах, а сами объекты, так сказать, отодвигаются на периферию. Однако уже простой сравнительный анализ показывает, что познание объекта как элемента структурных материальных систем представляет собой более глубокое познание его внутренних свойств, его сущности. Такова диалектика процесса познания: переход от объекта к системе, к структурному исследованию связанной совокупности объектов есть одновременно и углубление в сущность самих этих объектов. В этом состоит одна из основных особенностей системно-структурных методов исследования.

Познание объекта в составе систем означает не только более глубокое познание его внутренних свойств и строения в сравнении с его познанием вне и независимо от вхождения в системы. Опыт показывает, что объект, входя в систему, существенным образом меняет свои свойства, свои характеристики; и чем сложнее система, тем более заметно изменение его свойств. В литературе это находит свое выражение в утверждениях о неаддитивном характере свойств объектов в целостных системах, обусловленном их взаимодействием¹⁸.

¹⁸ См., например: *Б. М. Кедров. Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., 1967, стр. 180 и сл.*

В физике факт изменения свойств объектов при их вхождении в систему особенно наглядно выражается в явлении дефекта масс, состоящем в том, что масса ядер меньше суммарной массы соответствующих нуклонов. Следует заметить, что масса составляет коренное свойство материальных объектов; она присуща любому материальному объекту, а потому изменения в ее значениях говорят о фундаментальном характере изменений свойств объектов при их вхождении в системы.

С точки зрения теории познания, ясно, что изучение объектов должно включать в себя и знание того, какие системы могут образовывать эти объекты и какое влияние они оказывают на жизнедеятельность таких систем. Объект характеризуется на основе раскрытия структурных связей в тех системах, в образовании которых он участвует. Наличие свойств, выражающих структурные связи объекта в составе систем, и представляет главное отличие характеристики объекта как элемента определенных систем от его характеристики в состоянии отчуждения. И благодаря привлечению этих структурных характеристик возможно более глубокое проникновение в сущность самих объектов. Именно этим и объясняется, например, фундаментальная роль волновых функций в характеристике свойств и закономерностей элементарных частиц.

Итак, познание объекта в рамках системы означает более глубокое проникновение в его сущность. Однако, с методологической точки зрения, важна не только констатация этого вывода. Гораздо важнее определение общего направления, закономерных тенденций в этом проникновении в сущность объектов. Эта задача еще ждет серьезного исследования. Здесь же прежде всего следует обратить внимание на направленный, избирательный характер внутренних свойств и взаимодействий объектов в системах. При этом сами представления о направленности или избирательности при переходе к более сложным системам претерпевают существенные изменения: простейшая пространственная анизотропия внутренних свойств в случае простейших объектов физики приводит, по мере движения от физики к биологии, к адекватному и целенаправленному поведению живых тел как высшим формам направленного взаимодействия в природе. Направленность и избирательность компонентов систем существенно связаны с другой важной их особенностью —

их внутренней специализацией в составе систем. Можно, пожалуй, констатировать как факт, что устойчивые материальные системы могут образовываться там, где компоненты взаимообуславливают и дополняют друг друга, именно благодаря наличию их внутренней специализации.

Важнейшей особенностью объектов как элементов материальных систем является также то, что структурные связи в системе носят динамический характер, т. е. микроскопически состояние системы непрерывно изменяется во времени. Противоположными динамическим являются связи статические как застывшие во времени. На основе представлений о статических связях невозможно дать глубокий анализ структуры материальных систем. Тем не менее первоначально познание систем вскрывает в них наиболее устойчивые отношения, которые трактуются как статические. В дальнейшем происходит переход от статических представлений к динамическим. Такой переход ставит перед теоретическим естествознанием существенную проблему: исходя из понятий статики, выразить динамику соответствующих процессов. В античной древности при анализе механического движения эта проблема нашла свое выражение в известных апориях Зенона. В физике нашего времени она получила отражение в дискуссиях о природе ансамблей Гиббса. В химии уже первые шаги при переходе от статики к динамике в структурных представлениях о молекулах привели также к острым дискуссиям по вопросам, поставленным теорией резонанса.

Следует отметить, что в более сложных случаях, и прежде всего в биологии, динамический характер взаимосвязей между элементами обычно не вызывает сомнений. Более того, он касается не только характера связей между элементами: в биологических системах происходит постоянная смена, обновление самих элементов, что отражает гораздо более существенную сторону их внутренней динамики. В организме происходит постоянная смена химического состава клеток и их самих; жизнь биологического вида предполагает постоянную смену особей. Аналогично развитие общества предполагает постоянную смену его членов и поколений.

Современное познание биологических систем носит преимущественно качественный характер, и соответствующие адекватные математические методы их позна-

ния еще по существу не выработаны. Вместе с тем вполне возможно, что в процессе проникновения математических средств в изучение структуры биологических систем также возникнет (в своеобразной постановке) проблема перехода от статических представлений к динамическим. К этому можно добавить, что в современном естествознании динамический характер связей между элементами в системах начинает все более учитываться, о чем, например, свидетельствуют представления об обменных силах, виртуальных частицах и другие, разрабатываемые современной физикой.

Представление о динамическом характере взаимосвязей между элементами систем ставит ряд других важных методологических вопросов, например вопрос о роли периодичности, цикличности во внутренней динамике сложных систем. В биологии периодический характер основных жизненных функций организмов общеизвестен. Где налицо системы с динамическими связями, там всегда включаются в рассмотрение и периодические характеристики. В теории атома такой периодической величиной является частота, используемая для выражения внутренних энергетических состояний атома. На идеи периодичности основываются представления об обменных силах при исследовании строения ядер.

Итак, познание отдельных объектов как элементов материальных систем означает более глубокое проникновение в их сущность, в результате чего вскрываются направленный характер их внутренних свойств и взаимодействий, утонченная специализация объектов и динамическая природа их взаимосвязей в системе.

III

Жесткая детерминация

В «точном» естествознании, повторим, вначале была механика Ньютона. Ее разработка оказала огромное влияние на все последующее развитие естествознания. На протяжении почти трех столетий она определяла направление развития по крайней мере всех наук о неживой природе, а на базе ее отрицания была разработана современная физика.

Формулировкой Ньютоном основных законов механики завершился первоначальный (и чрезвычайно длительный) этап ее развития. Этот этап с его достаточно расплывчатыми, во многом неопределенными и разрозненными представлениями можно назвать описательным. На смену ему пришел этап аналитический, подчеркнувший прежде всего решающее значение математики для выражения исходных, фундаментальных законов природы. Со времени классической механики математика вообще становится основной формой выражения фундаментальных закономерностей природы и судьбы теоретического естествознания оказались связанными с судьбами математики.

Развитие классической механики оказало громадное воздействие на научное мировоззрение, на разработку представлений о структурной организации материи и природе познания. Согласно этой картине мира, предполагалось, что поведение и взаимодействие всех объектов Вселенной подчиняются законам классической механики. Это мировоззрение обосновывало механику, освещало пути ее дальнейшего развития и экспансии в новые области исследования. Грандиозные успехи классического естествознания, и прежде всего классической физики,

явились также триумфом механистического мировоззрения, что привело к его абсолютизации. Лагранж называл Ньютона не только величайшим, но и самым счастливым гением. «Систему мира можно установить только один раз»¹.

Классическая механика оказала громадное воздействие на развитие всех философских категорий: материи, движения, пространства, времени, причинности, случайности и др. При рассмотрении этих категорий и в наши дни иногда ограничиваются соображениями, навеянными обычной механикой. В этих случаях реальный материал, полунаглядные модельные представления о действительности, которые обычно сопровождают философский анализ, выступают в форме механических образов и представлений. Такой «фактический» багаж не может не сковывать само философское исследование и в настоящее время порождает лишь самонадеянные попытки решать «на пальцах» все философские проблемы.

Классическая физика, в качестве исходного и объединяющего начала которой рассматривается классическая механика, послужила основой определенного стиля научного мышления. Этот стиль мышления определяется логической структурой ряда теорий, начиная от механики Ньютона и кончая классической электродинамикой Максвелла. Сюда же фактически примыкает и теория относительности в физике, хотя она существенно видоизменила физические воззрения. Единство внутренней структуры названных теорий выражается в том, что отображаемые в них закономерности относятся к одному и тому же классу (виду, типу). Данный класс закономерностей вначале получил название динамических закономерностей, однако в настоящее время такое название нельзя признать адекватным: динамика не ограничена рамками классической физики. В наши дни в этих случаях предпочитают говорить — и это точнее — о простых динамических закономерностях, классическом детерминизме или закономерностях жесткой детерминации.

Поскольку классическое естествознание придавало решающее значение закономерностям жесткой детер-

¹ Цит. по: С. И. Вавилов. Собрание сочинений, т. 3, М., 1956, стр. 461, 715.

минации, а о других классах закономерностей фактически не имело представлений, то специфические черты этих закономерностей рассматривались как всеобщие. Только развитие современной физики на более высоком уровне вскрыло ограниченность общих представлений о закономерностях, основанных на механике Ньютона. Необходимо заметить, что в философском отношении критика этих представлений имела место и раньше, но физика нашего века основывает свою критику на языке математики, на базе разработки и осмысления новых теорий. Высший тип критики опирается не на простое отрицание или сомнение: он означает разработку нечто более совершенного взамен отрицаемого, хотя путь разработки этого лучшего лежит через сомнения.

В настоящее время общепризнано, что представления о закономерностях, которые олицетворяет классическая механика, не только не выражают всю истину о закономерностях, но, напротив, характеризуют лишь простейший их класс. Вместе с тем закономерности жесткой детерминации имеют и непреходящее содержание, характеризующее линию преемственности в развитии учения о закономерностях.

1. Тотальная однозначность связей

В качестве определяющей черты класса закономерностей жесткой детерминации обычно рассматривается строго однозначный характер всех без исключения связей и зависимостей, отображаемых в рамках соответствующих представлений и теорий. Если анализируются параметры некоторого отдельного объекта или системы, то все связи между ними могут иметь лишь строгое, взаимно однозначное соответствие. Если речь идет о количественных изменениях значений параметров, то эти изменения могут происходить также лишь строго однозначным образом. Если исследуется поведение некоторого объекта — как входящего в какую-нибудь систему, так и вне таковой, — то оно определяется единственным образом во всех своих деталях. В негативной формулировке сказанное означает: там, где нет строгой однозначности в связях, нельзя говорить о соответствующих закономерностях. Более того, с точки зрения рассматриваемого класса закономерностей, в тех

случаях, когда имеет место какая-либо неоднозначность или неопределенность в связях, нельзя вообще говорить об истинной закономерности: в этих случаях мы имеем дело лишь с неполным выражением наших знаний об исследуемых объектах, с подходом к истине, но еще не владеем самой истиной.

Проблема однозначности играет весьма важную роль в разработке философского учения о необходимости и закономерности. Может ли необходимость, закономерность органически включать в себя неоднозначность или неопределенность или же в подобных случаях вообще нельзя говорить о закономерностях?

Поскольку представления о простых динамических закономерностях выработались главным образом на основе развития классической механики и именно на эту теорию они прежде всего опираются, необходимо кратко вспомнить основные идеи классической механики, основную задачу, которая решается в этой теории. В классической механике выражены законы механического движения макротел с относительно небольшими (по сравнению со скоростью света) скоростями, законы их простого пространственного перемещения относительно друг друга и их силовых взаимодействий. При этом, как уже отмечалось, макротела в классической механике рассматриваются отчужденно, как существующие абсолютно независимо друг от друга, и, следовательно, каждое тело не нуждается в других для своего обоснования.

В основе механики лежит исследование движения отдельного макротела. Для отображения простого механического перемещения была выработана идеальная модель движения, позволяющая вскрыть существо дела и исключить из рассмотрения второстепенные и осложняющие факторы. Эта модель представлена понятиями материальной точки и системы отсчета. Понятие материальной точки моделирует собственно макротело, а системы отсчета — всю окружающую тело обстановку в целом.

Для характеристики механических свойств макротел выработана относительно замкнутая система понятий, таких, как масса, скорость, импульс, ускорение, положение (координаты), сила, энергия и др. Каждое из этих понятий предполагает возможность строго количественного (численного) определения своих значений. В неко-

торый момент времени все величины, характеризующие макротело, имеют строго определенные значения. В этих случаях говорят, что макротело находится в некотором состоянии, характеризуемом заданными численными значениями своих параметров. Изменение параметров во времени есть изменение состояний исследуемого тела. Благодаря наличию взаимосвязей между механическими величинами, отображаемых законами механики, не все величины являются независимыми, и для задания состояния движения макротела достаточно задания всего двух величин — его положения в пространстве и импульса.

Основная задача классической механики состоит в нахождении траектории движения макротела. Эта траектория определяется на основе законов (уравнений) механики, исходя из знания некоторого исходного (начального) состояния данного тела и сил, действующих на него в исследуемый промежуток времени. Другими словами, законы Ньютона выражают структуру связей между состояниями макротел при их механическом движении: если заданы некоторое исходное состояние тела и действующие на него силы, то они позволяют определить любое иное его состояние, т. е. траекторию движения. При этом весьма существенно, что траектория движения макротела в механике определяется единственным образом: каждое возможное состояние макротела характеризуется строго определенными численными значениями всех его параметров. Если же траектория движения макротела не определена однозначно или значения некоторых параметров строго не определены (неопределенны), то, оставаясь на позициях самой классической механики, следует сказать, что мы еще не имеем решения задачи, или что задача поставлена некорректно, или что анализ ситуации выходит за рамки механики.

Логическое построение последующих теорий классической физики по существу аналогично схеме классической механики. Рассмотрим классическую электродинамику. Пример этой теории интересен потому, что если механика Ньютона выражает взгляд классической физики на корпускулярный аспект строения материи, то электродинамика отображает подход классического естествознания к проблеме строения материи со стороны ее

чистой непрерывности. Кроме того, следует отметить, что классическая электродинамика в известном смысле венчает здание классической физики.

Классическая электродинамика является физической теорией электромагнитного поля, в ней выражены закономерности электромагнитных явлений. Состояние физической системы — электромагнитного поля — характеризуется векторами электрической и магнитной напряженности \vec{E} и \vec{H} . Основная задача электродинамики состоит в том, чтобы однозначно определить напряженности электромагнитного поля в момент времени $t_1 > 0$ в любой точке объема V , ограниченного некоторой замкнутой поверхностью S , по заданным значениям векторов \vec{E} и \vec{H} во всей этой области пространства для $t = 0$ и по известным граничным условиям на границах этой области. Это фактически и достигается на основе уравнений Максвелла.

Итак, класс простых динамических закономерностей характеризуется однозначностью всех своих связей. Если мы положим такие представления в основу философских идей о закономерностях и ограничимся ими, то с неизбежностью будем утверждать, что задача научного исследования состоит в установлении однозначных связей между элементарными событиями мира, и только такие связи следует оценивать как необходимые, как связи, отображающие истинную закономерность. Однако насколько могуч этот принцип? И неужели в великом множестве событий нашего мира необходимость всегда проявляет себя в виде одно-однозначных связей между исходными элементарными событиями? Не ближе ли к истине утверждение, что однозначные связи между исходными событиями представляют необходимость только в простейших случаях?

Исторически имела место абсолютизация схемы простых динамических закономерностей. Эта философская концепция получила название лапласовского, или классического, детерминизма. Абсолютизация класса простых динамических закономерностей наиболее сильно проявила себя и, следовательно, наиболее резко выявилась ограниченность этих закономерностей при переходе к исследованию больших совокупностей объектов и поведения отдельных объектов в составе таких совокупно-

стей. Другими словами, ограниченность класса простых динамических закономерностей выявилась в связи со становлением представлений о системах и методов их исследования.

Часто приводимое высказывание Лапласа, которое обычно рассматривается как наиболее четкая формулировка концепции классического (лапласовского) детерминизма, также было дано при попытках перенести логическую схему закономерностей классической механики на всю природу, понимаемую как систему тел. «Ум,— говорит Лаплас,— которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел вселенной наравне с движениями легчайших атомов: не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверным, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором»².

Согласно взглядам классического детерминизма, связями, могущими выражать истинные закономерности в системах, считаются лишь те, которые единственным образом определяют поведение каждого из объектов системы. Поведение любого объекта в системе определяется поведением всех остальных объектов, и притом взаимно однозначным образом. В связи с этим говорят о жесткой детерминации каждого элемента в системе.

Эти взгляды на закономерность и детерминизм обеспечили прогресс прежде всего самой механики — разработку механики твердого тела и сплошных сред. Однако они оказались элементарно несостоятельными при соприкосновении с более сложными явлениями, и прежде всего при анализе биологических и социальных систем. Чтобы яснее осознать, что такое жестко детерминированная структура, произведем мысленный эксперимент — представим себе некоторый коллектив индивидов, действующий по принципам жесткой детерминации. Жесткая детерминация означает, что любая уловимая деталь поведения, начиная от героических актов самопожертвования и кончая шевелением мизинца, каждого из

² Лаплас. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908, стр. 9.

индивидов единственным образом взаимосвязана с деталями поведения всех других индивидов, единственным образом обусловлена структурой системы. Если в этом коллективе одного из индивидов наделить инициативой, то легко заметить, что функционирование такой системы станет возможным лишь за счет лишения инициативы всех других, ибо при наличии инициативы уже у двух индивидов функционирование системы будет парализовано, поскольку инициатива предполагает определенные самостоятельные и независимые решения и действия. Она означает выбор направления и рынков в главном — детали же согласовываются в ходе самого движения вперед. Жестко детерминированные структуры исключают возможность таких стратегий.

Схема жесткой детерминации отрицает какую-либо автономность в поведении элементов в рамках системы. В этом состоит ее сила и ее слабость: она обеспечила прогресс классической физики и выросшей на ее основе техники, но абсолютно негодна, как мы видели, для отображения структуры сложных систем.

Критика концепции лапласовского детерминизма в естествознании нарастала по мере проникновения в него идей диалектики. Окончательная конструктивная критика абсолютизации схемы жесткого детерминизма принадлежит вероятностным методам исследования: в данном случае естествознание на теоретико-математическом уровне овладело новым классом закономерностей, которые, как мы увидим в дальнейшем, в самих своих основах отрицают схему классического детерминизма и сам факт наличия которых говорит об ограниченности схемы жесткой детерминации.

Хотя в настоящее время достаточно ясно вскрыта ограниченность схемы жесткой, однозначной детерминации, это отнюдь не означает, что данная схема не работает в современном естествознании. И это касается не только областей классической физики, где эта схема зародилась и с судьбами которых она навечно себя связала. Схема жесткой детерминации будет повторять себя и действительно повторяет в развитии тех принципиально новых областей и методов знания, история которых включает воспроизведение основных путей развития познания. На представлениях о жесткой детерминации базируется фактически все предшествующее развитие

научно-технической мысли, действие практически всех создаваемых человеком машин, механизмов и автоматов, включая и сложнейшие кибернетические устройства.

Развитие, совершенствование вычислительных устройств, идущее по пути повышения быстродействия, миниатюризации (основывающейся на новых физических принципах построения различных элементов) и автоматизации программирования не затрагивают самого принципа однозначной детерминации. В конечном счете такое совершенствование кибернетических систем связано с увеличением числа (электронных) элементов и разработкой новых схем их связи. Однако по мере возрастания сложности технических систем и повышения требований к точности управления происходящими в них процессами катастрофически снижается их надежность: выход из строя одного самого простого элемента системы, любая ошибка в их соединении обычно приводят к полному искажению результатов. Повышение надежности жестко детерминированных систем достигается за счет дублирования (и даже тройнирования) ответственных элементов и схем. Однако в настоящее время очевидно, что этот путь не является радикальным решением проблемы и принципиально ограничен.

Во второй половине XX в. в научно-технических кругах возник интерес к принципам организации и функционирования живых (биологических) систем и использованию последних в разработке современных технических устройств, что находит свое выражение в огромном числе исследований по самоорганизующимся системам.

Для нас важно отметить, что это направление ясно выражает отказ от принципа жесткой однозначной детерминации элементов в разработке кибернетических систем. Связь между элементами строится на принципе функциональной заменяемости, функциональной избыточности: предполагается, что при выходе из строя тех или иных элементов системы выполнение их функций будет возложено на другие элементы. В идеальной перспективе биологические принципы построения кибернетических устройств ведут к принципу самораспределения функций элементов системы. Системы сами будут узнавать о возможном отказе отдельных элементов и соответственно перестраивать свою внутреннюю организацию работы, свои внутренние связи и взаимодействия, начнут вводить

В действие резервы, работоспособные элементы будут принимать на себя функции вышедших из строя, станет изменяться специализация элементов.

Принципиальное отсутствие однозначной детерминации элементов в подобных системах может обеспечивать непрерывность их нормального функционирования далеко за пределами той области, где действуют ныне жестко детерминированные кибернетические устройства.

Следует добавить, что граница между самоорганизующимися и жестко детерминированными кибернетическими устройствами, несмотря на их принципиальное качественное отличие, предполагает в то же время и известную относительность. Цифровые машины, способные к простейшему самопрограммированию, представляют автоматы с весьма высоким уровнем организации, включающим определенную автономность. Именно благодаря этому свойству автономности на цифровых машинах можно ставить блестящие кибернетические опыты по моделированию обучения, эволюции и самовоспроизведения.

2. Равноценность связей

Жесткость связей имеет своей оборотной стороной их качественную равноценность. Любая рассматриваемая связь независимо от природы соответствующих свойств, или параметров, в равной мере необходима. Действие, вклад каждой связи в общий результат может отличаться лишь интенсивностью, количественно, но не характером, не особенностями своей внутренней природы. В системах, функционирующих по схеме жесткой детерминации, обрыв любой из независимых связей ведет к выходу из строя самой системы, а ее незнание означает незнание самой системы. В принципе такие системы нельзя ремонтировать на ходу, без прекращения их действия. Повышение надежности работы жестко детерминированных систем теоретически оказывается возможным лишь за счет дублирования ответственных узлов или подсистем.

Практически же факторы, повышающие надежность функционирования тех систем, которые обычно рассматриваются как жестко детерминированные, ведут за рамки самих строгих представлений о жесткой детерминации. В этой связи представляет интерес следующее высказывание Н. Винера: «Негибкий мир можно назвать ор-

ганизованным только в том смысле, в котором организован мост, все детали которого жестко скреплены друг с другом. В подобном сооружении каждая деталь зависит от всех остальных и все части постройки играют одинаково важную роль. В результате на этом мосту нет участков, которые могли бы принять на себя наибольшее напряжение, и если только он не сделан целиком из материалов, могущих выдержать без заметных деформаций большие внутренние напряжения, то почти наверняка концентрация напряжений приведет к тому, что мост рухнет, лопнув или разорвавшись в том или другом месте.

На самом деле мост, как любое другое строение, выдерживает нагрузку только потому, что он не является стопроцентно жестким»³.

По-видимому, функционирование всех систем, созданных человеком по принципам жесткой детерминации, происходит фактически потому, что они не являются абсолютно жесткими: многие внутренние связи изменяются, разрываются (например, старение материала, увеличение допусков и т. п.), но это в весьма широких пределах заметным образом влияет на функционирование всей системы в целом.

Раскрыть содержание представлений о равноценности параметров в некоторой теоретической системе легче всего, сопоставив данный случай с противоположным. Математическая сторона дела в вопросе о неравноценности параметров была подчеркнута в выдвинутых И. М. Гельфандом и М. Л. Цетлиным представлениях о хорошо организованных функциях⁴. Хорошо организованная функция есть функция с достаточно большим числом переменных, причем эти переменные можно разделить на существенные и несущественные, и они стойко сохраняют свою принадлежность к тому или другому подклассу. Несущественные переменные могут обуславливать резкие изменения и скачки функции, но они не оказывают определяющего действия на характер функции в целом и на больших интервалах, на расположение экстремумов и

³ Норберт Винер. Я — математик. М., 1964, стр. 309 (курсив мой.— Ю. С.).

⁴ См.: И. М. Гельфанд и М. Л. Цетлин. О некоторых способах управления сложными системами.— «УМН», 1962, т. 17, вып. I.

т. д. Форма, вид функции определяется прежде всего существенными параметрами, влияние которых на небольших интервалах может весьма значительно маскироваться воздействием несущественных параметров.

Хорошо организованные функции вводятся для решения задач фазового анализа рассеяния элементарных частиц, рентгеноструктурного анализа и многих аналогичных задач, возникающих при обработке наблюдений. Но особенное значение представления об этих функциях могут иметь при анализе проблем функционирования и управления в сложных системах, в связи с исследованием которых и была выдвинута эта математическая идея. И хотя она находится в процессе становления и встречает чрезвычайные затруднения в своем развитии, идея эта исходит из обобщения весьма обширного класса реальных явлений. «Чрезвычайно заманчиво обратиться к описанному классу функций,— пишет Н. А. Бернштейн,— представив каждую сторону развития и жизнедеятельности живых организмов посредством такой функции многих переменных, где тот и другой их подкласс прямо накладываются на поведение соответственно существенных и несущественных признаков... Тогда, например, применительно к морфогенезу того или иного листа, цветка и т. п. можно будет сказать, что определяющие видовые явно закодированные в хромосомах черты реализуются как продукт существенных (в смысле Гельфанда — Цетлина) переменных, а метрические признаки, дающие каждый вариационные ряды,— как результат влияния несущественных переменных... То, что совершенно аналогичная организация определяющих переменных имеет место в актах восприятия, прежде всего в восприятии формы, а далее и во всевозможных актах обобщения, указывает на то, что и мозговому активному моделированию в процессах восприятия и отражения мира свойственна опять-таки природа этих замечательных функций»⁵.

Исходное положение, приведшее к представлениям о хорошо организованных функциях, есть положение о

⁵ Н. А. Бернштейн. Новые линии развития в физиологии и их отношение с кибернетикой.— В кн.: «Философские вопросы физиологии высшей нервной деятельности и психологии». М., 1963, стр. 316.

неравноценности классов аргументов по их относительной силе воздействия на изменения самой функции, по их влиянию на ее природу. Подобная неравноценность параметров — деление их на подклассы — имеет место во всех случаях, когда рассматриваются реальные сложные системы организации, управления или функционирования. Выделение в развитых теориях особых групп параметров (свойств) — инвариантных, теоретико-групповых — также говорит о серьезном значении в современной науке идеи о неравноценности параметров в относительно замкнутых системах понятий. Основная трудность в развитии этих идей и представлений состоит, пожалуй, в разработке способов объединения различных переменных в единую функцию и уравнение, способов объединения различных понятий в единую теорию.

В традиционно философском отношении идея равноценности исходных параметров, характеризующих состояние исследуемого объекта, означает, что все параметры в рамках некоторой теории рассматриваются как одинаково необходимые. При этом абсолютизация роли и значения в развитии познания простых динамических закономерностей привела к жесткому противопоставлению необходимости и случайности, в результате чего все параметры, относящиеся к случайным аспектам исследуемых процессов, исключались из теории. При этом никакой субординации или градации в самых необходимых параметрах и связях не проводилось, разве лишь в отношении величины, силы, количественного воздействия различных параметров на результат.

Рассматриваемый взгляд на соотношение и значение категорий необходимости и случайности является характерной чертой лапласовского детерминизма, существенной чертой механистического материализма. Абсолютизация и противопоставление категорий необходимости и случайности были подвергнуты решительной критике в процессе становления марксистской философии. Эти вопросы были проанализированы в основополагающих трудах по марксистской философии, особое внимание при этом можно обратить на широко известный фрагмент Ф. Энгельса «Случайность и необходимость»⁶.

⁶ См.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 532—536.

Следует заметить, что развитие современных философских представлений о необходимости и случайности невозможно без анализа общего учения о сложных системах. И это развитие показывает, что современные представления о необходимости и случайности опираются на идею неравноценности параметров в «жизнедеятельности» соответствующих объектов исследования, включающей в себя большое число градаций и весьма разнообразные формы «соподчинения».

Сущность вопроса о равноценности параметров в теоретических системах, построенных по принципу жесткой детерминации, хорошо раскрывается в плане представлений об уровнях кодирования информации. Равноценность параметров есть принадлежность их к принципиально одному уровню кодирования информации. Существенным признаком каждого уровня является его относительная независимость (автономность), что попросту выражает наличие у него самостоятельной значимости (ценности) и несводимости содержания одних кодов к другим.

Переход к высшим уровням кодирования информации есть переход к обобщенным, интегральным характеристикам. Однако обобщение обобщению рознь. Уже в случае простейших систем — механических — вступают в игру такие понятия (параметры, величины), которые являются характеристиками систем в целом и которые естественно, казалось бы, отнести к понятиям, выражающим более высокий уровень кодирования информации. К ним относятся, например, центр масс и момент инерции, представления о которых используются прежде всего в механике твердого тела. Эти понятия, несомненно, являются обобщением характеристик, присущих элементам систем. Однако это обобщение целиком определяется элементами систем (массой, скоростью и расстоянием). Здесь нет еще той необходимой доли независимости параметров, представляющих высшие уровни кодирования информации, которая характерна для сложных систем. Отсутствие этой независимости и позволяет говорить о равноценности обобщенных и обобщаемых параметров, хотя этим мы нисколько не хотим умалить значение первых. Значение обобщенных параметров состоит в том, что они позволяют расширить область применения механики, перейти от механики материальной точки к

изучению общего случая движения макротел (с учетом их пространственных размеров и вращений), сформулировать для этого случая уравнения движения, но, что для нас существеннее, параметры, характеризующие состояния объектов, равноценны.

В случае механических систем обобщающие характеристики (переход к высшим кодам) определяются путем установления непосредственных связей между элементами. В общем же случае связь между элементами опосредуется структурой, а обобщающие понятия характеризуют не столько сами элементы, сколько особенности такой структуры.

3. Вопросы синтеза

Как уже отмечалось, для характеристики того или иного класса закономерностей весьма существенное значение имеет вопрос о природе, характере синтеза элементов, допускаемого на базе этого класса закономерностей. Основные особенности синтеза на базе данного класса выше уже отмечались; здесь мы рассмотрим их несколько обобщенно.

В случае жесткой детерминации синтез означает установление строго однозначных зависимостей между элементами. Все элементы практически равноценны с точки зрения целей и надежности функционирования системы в целом. Положение и функционирование каждого элемента в системе зависит от положения и функционирования всех остальных. Структура жестко детерминированных систем допускает достаточно простой, фактически базирующийся лишь на дедукции, способ перехода от характеристик элементов самих по себе к характеристикам систем в целом, и обратно. Для исследования таких систем зачастую достаточны чисто макроскопические или микроскопические методы.

С развитием науки развивались и представления о жестко детерминированных системах. Простейшие из них — механические. Основные свойства таких систем равняются простому суммированию свойств их элементов. Именно суммативность и определяла разработку представлений о различных механических системах, т. е. переход от механики материальной точки к механике систем, включая механику твердого тела и сплошных

сред. Однако не следует забывать, что уже простая сумма есть нечто новое, не содержащееся в ее слагаемых. Так, уже число «два», образованное путем сложения «единиц», содержит нечто новое: оно представляет собой четное число, тогда как слагаемые — нечетные.

Наиболее сложными системами жесткой детерминации являются, пожалуй, схемы искусственно конструируемых и создаваемых человеком механизмов и машин, вплоть до огромных по размерам радиотехнических и кибернетических устройств. По мере их усложнения все более самостоятельное значение приобретают представления о структуре. Свойства систем в целом все в большей степени начинают определяться не только свойствами элементов, но и структурной связью элементов, их согласованным и последовательным во времени действием.

С усложнением структуры идет расшатывание ее жесткости, зарождается идея автономности, что начинает обнаруживаться в принципах блочного проектирования больших систем, самопрограммирования и в ряде других направлений современного развития кибернетических устройств. В первом случае конструирование и разработка схем блоков приобретают известную независимость, и особый упор делается на жесткость связей между блоками; во втором — действие устройств не предопределено заранее программой, они «приучаются» к действиям «судя по обстановке». Возрастание роли представлений о структуре в синтезе жестко детерминированных систем говорит о том, что в данном случае становится невозможным простой дедуктивный переход от свойств элементов к свойствам системы в целом, и обратно.

Оборотной стороной простоты синтеза в жестко детерминированных системах является то, что элементы рассматриваемого класса систем могут быть достаточно исчерпывающе познаны через отчуждение, т. е. вне и независимо от их вхождения в сами системы. При вхождении в системы элементы не изменяют своих свойств — связи обычно накладывают лишь ограничения на возможные интервалы изменений их количественных значений. Именно в этих случаях элементы рассматриваются как части некоторого целого. Если при синтезе элементы существенно изменяются, то уже неправомер-

но говорить, что они есть части целого, а целое состоит из этих частей. Выражения «часть целого» и «состоит из» более свойственны тем случаям, когда рассматриваются системы типа механических.

4. К критике концепции жесткой детерминации

Многие проблемы, возникающие при философском осмыслении достижений естествознания по мере его развития, имеют свою предысторию в математике. Концепция жесткой детерминации, как мы видели, подверглась прежде всего критике по вопросу о характере, роли и значении одно-однозначных зависимостей, точнее, за признание универсального характера таких связей. В развитии математики неоднократно вставала проблема однозначности и многозначности. Так, уже при решении квадратных уравнений и уравнений более высоких степеней получается неоднозначный результат. История математики хранит память о многих упорных и длительных попытках избежать этой неоднозначности: в лучшем случае она рассматривалась как причуда чисто вычислительных процедур. «Греки,— пишет Г. Г. Цейтен,— не имея понятия *отрицательных величин*, должны были следить за тем, чтобы обе стороны уравнения были всегда положительными для значения неизвестной, удовлетворяющей ему; а если задача все же приводила к отрицательному результату, то грек, если он знал причину этого, должен был изменять формулировку задачи так, чтобы в конце концов получилось все-таки положительное решение. Индусские математики принимали спокойно результаты вычислений, какими бы они ни были; они несколько не интересовались вопросом о том, до каких пор стороны полученного уравнения оставались положительными, и если искомая величина оказывалась отрицательной, то нередко без сомнения они отбрасывали такого рода корень, но нередко также они довольствовались им, толкуя его просто как долг. Они установили также правила для произведения действий с величинами, имеющими знаки, хотя первоначально они применяли их лишь к отдельным членам в выкладках с многочленами. Исходя из этого, они установили существование двух знаков у квадратного корня, а значит — и двух корней у уравнений второй степе-

ни, но, когда один из этих корней был отрицательным, они чаще всего отбрасывали его»⁷.

Со временем взгляд на неоднозначность при решении многочленов был преодолен: прогресс математики заключался в признании принципиального характера этой неоднозначности, что было обосновано на путях расширения наших представлений о числе и признания определенной симметрии во всем множестве чисел. Таким образом, в общее понятие числа были включены иррациональные, отрицательные и комплексные числа.

Наиболее остро проблема неоднозначности встала при изучении массовых явлений, и прежде всего в развитии представлений о сложных системах. Чтобы сложная система могла успешно и целенаправленно функционировать, между ее компонентами должна быть согласованность, включающая в значительной мере и жесткость связей. Вместе с тем компоненты систем обладают определенной независимостью (автономностью), которая, так сказать, по самому определению отрицает жесткость связей. Принцип структурной организации сложных систем, включающий строгую зависимость между элементами и их независимость, более широк и общ, чем принцип, основывающийся на одной лишь простой одно-однозначной зависимости. Раскрытие взаимоотношения зависимости и независимости (автономности) лежит в основе познания сложных систем. Точнее говоря, зависимости (связи) не есть нечто такое, что может просто быть или не быть. Основной факт состоит в том, что они имеют внутренние градации по своей интенсивности, обладают большей или меньшей «степенью наличности», а раскрытие диалектики взаимосвязей реального мира включает в себя и опирается на анализ взаимопроникновения предельных (противоположных, взаимоисключающих) случаев, анализ их взаимоисключения и тождества.

Анализу принципов структурной организации математики уделял значительное внимание Н. Винер в своих работах по философскому обоснованию кибернетики и ее методов, посвященных фактически анализу воздействия точки зрения Гиббса — точки зрения вероятно

⁷ Г. Г. Цейтен. История математики в древности и в средние века. М.—Л., 1932, стр. 189.

сти — на развитие наших представлений об устройстве мира. «Мы должны рассматривать организацию, — писал Н. Винер, — как нечто обладающее взаимосвязью между отдельными организованными частями, причем взаимосвязь эта не единообразна. Связи между одними внутренними частями должны играть более важную роль, чем между другими, иными словами, связи внутри организации не должны быть абсолютно устойчивыми, чтобы строгая определенность одних ее частей не исключала возможность изменения каких-то других. Эти изменения, различные в различных случаях, неизбежно носят статистический характер, и поэтому только статистическая теория обладает достаточной гибкостью, чтобы в своих рамках придать понятию организации разумный смысл»⁸.

В современных представлениях об устройстве мира определяющее значение приобретают признание существенной внутренней гибкости мира и выработка теоретических средств ее отображения. При этом центральное место принадлежит учению о связях, их природе и характере. Современные обобщения в учении о связях, направленные на раскрытие их гибкости, оказываются возможными на путях включения в анализ представлений об уровнях кодирования информации, на путях выработки представлений о связях различной степени общности.

Наиболее последовательными и математически разработанными теориями, учитывающими гибкость внутренних связей соответствующих объектов исследования, являются те, которые в математическом отношении опираются на теорию вероятностей. Эту мысль и подчеркивает Н. Винер в своих работах о принципах устройства мира. Раскрытие и обоснование ее — дело дальнейшего анализа. Однако высказанные соображения необходимы для того, чтобы не впасть в тот предрассудок, что в мире, в котором все взаимосвязано и взаимобусловлено, не остается достойного места для существенной автономности, включающей в себя независимость, и познания таковой. Как нельзя познать необходимость, исключив из сферы научных интересов случайность, так невозможно раскрыть фундаментальные зависимости в материальном мире вне и помимо

⁸ Норберт Винер. Я — математик, стр. 309.

существенной независимости. Собственно, и сама проблема управления встает в связи с необходимостью обеспечения некоторого целенаправленного действия системы, элементы которой обладают определенной независимостью друг от друга: где нет этой независимости подсистем, где все жестко определено, там по существу нет и самого управления в современной постановке этой проблемы; точнее, там может идти речь лишь о простейшем типе управления, основанном на культуре приказа и его слепого исполнения.

Хотя проблема взаимопроникновения зависимости и независимости, по нашему мнению, и является основной в современных обобщениях о связях и критике представлений о жесткой детерминации, тем не менее об ограниченности этих представлений говорят и иные соображения, пусть менее значащие.

Прежде всего следует иметь в виду, что каждая научная теория носит относительный характер и, следовательно, имеет определенные границы действия. Это с формальной стороны означает, что в теории представлены не все параметры, характеризующие исследуемый объект, и что зависимости между параметрами вследствие неизбежных изменений внутренних состояний объекта не могут оставаться постоянными. Соответственно этому имеет свои границы и та жесткая детерминация, которая отражена в определенных теориях. Сказанное делает несостоятельными нередко встречаемые утверждения, что простые динамические закономерности, в частности законы классической механики, позволяют вычислить любое последующее состояние исследуемого тела, исходя из знания некоторого его начального состояния и внешних сил. Со временем материальные тела оказываются в иных условиях, претерпевают качественные изменения, а следовательно, переходят из области, изучаемой одной теорией, в область, изучаемую другой.

Более того, признание относительного характера знаний означает, что схема жесткой детерминации отнюдь не является идеалом или пределом в развитии нашего познания и способов его выражения, а всего лишь — исходным пунктом. Даже питая особое пристрастие к схеме жесткой, однозначной детерминации, следует признать, что в любой конкретной научной теории всегда даны далеко не все связи, и не известно, су-

ществует ли предельная и идеальная форма выражения знаний при нашем стремлении учесть все новые и новые параметры и связи.

Роль жесткой детерминации в наших представлениях о логической схеме устройства мира по сути дела аналогична роли представлений об идеальном газе в теории газов, абсолютно черном теле при рассмотрении взаимодействия излучения с веществом, идеально упругом теле в теории упругости и т. п. Во всех этих случаях мы имеем лишь исходные схемы в наших конкретных попытках познания мира и его фрагментов.

Схема жесткой детерминации имеет ограничения и со стороны измерения количественных значений параметров, представленных в соответствующих теориях. Чтобы теоретически определить поведение во времени той или иной материальной системы, в частности, чтобы вычислить траекторию движения макротела в механике, нужно задать, как отмечалось выше, некоторое исходное состояние системы, т. е. измерить величины, характеризующие это состояние. При опытном же измерении любая физическая величина всегда определяется с некоторой точностью.

Ни одно измерение невозможно провести абсолютно точно. В сущности при измерении любой физической величины мы никогда не получаем строго определенного значения, а лишь пределы, между которыми эта величина заключена. При усовершенствовании измерительной техники пределы могут уменьшаться, но только до известной степени. Другими словами, всегда неизбежны ошибки в найденных значениях измеряемой величины. Эти ошибки обычно играют несущественную роль в дальнейших исследованиях соответствующей материальной системы, их влияние на результат не превышает влияния не учтенных в теории связей, а потому от них можно отвлечься.

Само увеличение точности измерения характеристик исходного состояния системы имеет разумные пределы. Если ошибки измерения начальных состояний системы будут оказывать такое же влияние на результаты определения конечных состояний, как и наличие не учтенных в теории связей, то дальнейшее увеличение точности измерения исходных параметров не даст положительных результатов. Для получения более точного расчета по-

следующих состояний систем необходимо менять всю постановку задачи — включать в рассмотрение новые параметры и новые связи, что зачастую весьма сложно. Поэтому во многом точность движения космических кораблей и ракет практически увеличивается не путем повышения точности задания исходных начальных данных, а путем принудительной корректировки или самокорректировки.

В ряде случаев ошибки измерения могут оказывать существенное влияние на дальнейшие результаты. С течением времени по мере изменения состояний исследуемой системы, особенно если она претерпевает многочисленные внешние воздействия, роль ошибок измерения возрастает и они могут стать преградой для теоретического определения последующих состояний системы. В этом случае на основе законов теории невозможно сколько-нибудь удовлетворительно определить взаимосвязь между состояниями системы⁹.

Относительный характер одно-однозначных связей служит наиболее широкой объективной основой правомерности использования приближенных методов теоретического расчета состояния исследуемых систем. Приближенные методы расчета вполне законны там, где характеристика систем с самого начала дается с некоторой степенью точности. Если же последнее отрицается, то применение этих методов надо рассматривать как нечто незаконное и временное, что не соответствует их действительной роли и значению в науке.

Относительный характер класса простых динамических закономерностей, связанный с относительностью научных теорий и опытного измерения величин, не является, конечно, особенностью только данного класса. Здесь была лишь отмечена относительность и этого класса закономерностей, что существенно для раскрытия их природы.

⁹ О роли ошибок измерения см. в кн.: *Л. Бриллюэн. Научная неопределенность и информация*. М., 1966.

IV

Исходные идеи теории вероятностей

Приступая к изложению кибернетики, У. Росс Эшби специально подчеркнул: «Истины кибернетики не нуждаются в выведении из какой-либо другой отрасли науки. Кибернетика имеет свои собственные основания»¹. Все, что обладает самостоятельным существованием, невыводимо ни из чего другого, по крайней мере в чем-то существенном. Аналогичным образом истины теории вероятностей обладают самостоятельной, независимой ценностью. Ее основные утверждения и понятия нельзя вывести из других, более простых представлений и понятий. Можно лишь установить логически необходимые связи ее преемственности по линии развития знания и связи с более общими категориями, но ее понимание, как и вообще понимание всего нового и существенного, требует непосредственного анализа конкретной ситуации — определенных областей опыта, теории и практики. Знание истории и закономерностей развития познания, как и философия вообще, обуславливают методологически это понимание, но не определяют его. Как уже отмечалось, познать нечто значит привыкнуть к нему, уметь им пользоваться и определить его связи с другими нечто на основе совершенствования общефилософской картины мира.

Теория вероятностей — весьма древняя и вместе с тем очень молодая научная дисциплина. Ее возникновение как математической дисциплины относится к середине XVII в. и связано с исследованиями Паскаля, Ферма и

¹ У. Росс Эшби. Введение в кибернетику. М., 1959, стр. 14.

Гюйгенса в области теории азартных игр. По мере усложнения задач и расширения области применений теории вероятностей развивалась и сама теория — ее методы и понятия. В этом процессе можно выделить ряд важных этапов. Большое значение имеют, например, работы А. А. Маркова, заложившего основы новой ветви теории вероятностей — теории случайных (стохастических) процессов, развитие которой составляет основное содержание новейших исследований по теории вероятностей. Однако особо важное значение в развитии теории вероятностей имеет разработка ее аксиоматического построения, ее внутренняя перестройка на теоретико-множественной основе, на основе понятий и представлений теории меры как раздела общей теории множеств.

Эта перестройка произошла совсем недавно, во второй четверти нашего столетия, и именно с этого времени теория вероятностей получила статус истинно математической дисциплины. Соответственно этому период развития теории вероятностей до ее аксиоматического построения иногда называют периодом элементарной, интуитивной теории вероятностей. Вместе с тем следует отметить, что философское осмысление идей и методов теории вероятностей зачастую ограничивается представлениями интуитивного периода ее развития.

Это находит свое оправдание прежде всего в том, что основной язык теории вероятностей сложился именно в этот период и что именно таким путем обычно вводят начинающего в эту научную дисциплину. Даже многие наши лучшие курсы по теории вероятностей не содержат ее теоретико-множественного раздела, изложение которого предполагает определенные знания по общей теории множеств, математической логике и другим разделам математики, что в свою очередь упирается, по-видимому, в организацию математического образования, в котором в настоящее время остро ощущается разрыв между ветвями чистой и прикладной математики. Сказываются, конечно, и традиции: философское осмысление почти трехвекового развития теории вероятностей имеет, несомненно, большие достижения, и им зачастую придается решающее значение. Поэтому для первоначального философского рассмотрения содержания вероятностных представлений можно ограничиться их элементарным построением. Вместе с тем привлечение идей

и методов аксиоматического, теоретико-множественного построения теории вероятностей позволяет, и в этом необходимо отдавать полный отчет, более тесно связать ее с учением о системах, с современными представлениями о структурной организации материи, что в свою очередь может привести к совершенствованию философских взглядов на вероятность.

1. От случайных событий к вероятностным распределениям

В обыденной речи выражения «весьма вероятно», «вероятно», «маловероятно», «невероятно» употребляются довольно часто. Ими пользуются при оценке перспектив развития некоторых событий — от простых житейских конфликтных ситуаций до прогнозов научного и политического характера. Таковы, например, высказывания: «Завтра, вероятно, опять будет пасмурно», «Весьма вероятно, что к 2000 году человек высадится на Марсе», «Маловероятно, чтобы представления о траектории сыграли существенную роль в разработке теории элементарных частиц», «Просто невероятно, чтобы N. мог нас обмануть» и т. д. В этих случаях вероятность выступает как мера субъективной уверенности говорящего относительно того или иного исхода развития событий, позволяет выразить его отношение к вопросу об истинности определенного единичного суждения. Эта мера определяется имеющейся в распоряжении данного человека информацией, его воззрениями на мир и психологическими особенностями. Во всех подобных случаях понятие вероятности используется довольно условно и практически лежит вне компетенции теории вероятностей.

Понятие вероятности в математике носит более строгий характер, и оно определяется на базе всего развития теории вероятностей. В известном смысле можно сказать, что все развитие этой теории есть процесс раскрытия того, что же представляет собой идея вероятности.

Теория вероятностей есть математическая наука, изучающая закономерности массовых случайных явлений. Точка зрения массовости как некоторого аспекта системности (как своеобразного учения о системах) лежит в основах этой науки. Подчеркивая эту природу вероятности, А. Я. Хинчин писал, что «основоположную роль в

современных вероятностных воззрениях» играет «взгляд на теорию вероятностей как на учение о массовых явлениях»².

Говоря об объектах исследования теории вероятностей как о массовых явлениях, необходимо сделать два замечания. Прежде всего теория вероятностей исследует не вообще массовые явления, а определенный их класс, который характеризуется как случайные массовые явления. Любая система есть массовое явление. Таковыми являются и твердое тело уже с точки зрения обычной механики (твердое тело как жестко детерминированная система материальных точек), и сложные биологические системы. Методологически всегда важно иметь в виду, что вероятностные массовые явления образуют пусть весьма обширный, но все же вполне определенный класс массовых явлений. Далее, как любая математическая дисциплина теория вероятностей весьма сильно абстрагируется от конкретной природы соответствующих массовых явлений. Ее основные понятия и законы, ее модель реальных объектов исследования носят весьма обобщенный характер. Сказанное можно выразить следующими словами А. Я. Хинчина: «Теория вероятностей есть учение о массовых явлениях. Ее методы применяются там и только там, где в реальном явлении принимает участие большое число более или менее равноправных ингредиентов; ее основным понятием служит относительное число тех из этих ингредиентов, которые обладают тем или другим данным признаком. Каково материальное содержание изучаемого явления, какова реальная природа этих ингредиентов, каков тот признак, по которому они классифицируются,— все эти вопросы совершенно безразличны для суждения о том, подлежит ли данный процесс компетенции теории вероятностей»³.

Теория вероятностей, исследуя свои массовые явления, характеризует их с точки зрения наличия в них определенных упорядоченностей, т. е. рассматривает их как определенные системы. Соответственно этому для раскрытия ее содержания вполне естественно использовать язык системно-структурных исследований. Чтобы

² А. Я. Хинчин. Частотная теория Р. Мизеса и современные идеи теории вероятностей.— «Вопросы философии», 1961, № 1, стр. 95.

³ Там же, стр. 97.

охарактеризовать некоторую систему, надо определить образующие ее элементы, условия и способы их вхождения в нее и саму систему в целом. Теория вероятностей выработала для этих целей понятия случайного события, случайной величины, вероятности и (вероятностного) распределения. Прежде чем переходить к раскрытию содержания теории вероятностей, сделаем одно замечание.

Выше мы видели, что в развитии теории вероятностей, в первоначальной разработке ее исходных понятий, существенную роль сыграл анализ весьма простого материала — азартных игр. Схемы этих игр дают исключительные по простоте и наглядности модели случайных явлений, позволяющие в наиболее отчетливой форме наблюдать и изучать соответствующие закономерности. В физике наиболее простым и наглядным случаем приложения вероятностных идей является классическая атомистическая теория газов. Соответственно этому мы и будем обращаться к рассмотрению примеров из области азартных игр и теории газов.

1. *Случайное событие как элемент случайного массового явления.* В качестве исходного понятия теории вероятностей обычно рассматривается понятие случайного события. Именно случайные события образуют соответствующие массовые явления. Под событием понимается любой факт, который при определенных условиях может произойти или не произойти. В качестве абстрактно-математического понятия событие в теории вероятностей определяется лишь тем, произошло оно или нет, а не его конкретной физической природой.

В примерах с игральной костью событием является выпадение некоторой грани, например грани с цифрой «4»; при бросании кости данная грань может выпасть, а может и не выпасть. Сказанное о событии нуждается в дальнейших пояснениях. Буквальное понимание события как факта, который имел или не имел место, может породить некоторые недоуменные вопросы. Если факт имел место, его можно наблюдать и регистрировать и, следовательно, можно сказать, что имело место такое-то событие. А если данного факта не было, то что о нем сказать? На каком основании можно утверждать, что имело место его отрицание? Ведь научное утверждение относится в конечном счете к тому, что в действительности имеет

место. Обычно под выражением «быть или не быть» понимается многое. Если некоторое рассматриваемое случайное событие (в нашем примере с костью — выпадение четверки) не произошло, то это означает, что произошло его отрицание, т. е. некоторое другое событие (выпадение иной грани). При этом существенно, чтобы это иное событие, событие-заменитель, относилось к тому же самому массовому явлению (к результатам бросков определенной игральной кости при стандартных условиях игры).

Сказанное о случайном событии ясно показывает, что более или менее развернутое его определение включает в себя определение условий и способов вхождения события во все массовое явление в целом. Аналогичным образом последовательное определение элемента множества включает в себя и определение множества в целом, и его структуру. В теории вероятностей роль такого синтезирующего начала играет понятие случайной величины: оно позволяет определить и все массовое явление в целом, и сами события в их проекции на это явление. Событие, как и материальный объект, получает более глубокую характеристику, когда оно рассматривается как элемент системы, а не отчужденно.

2. *Разнообразие.* Из сказанного следует, что определение случайного события предполагает, что оно всегда входит в некоторое множество событий, причем, и это весьма существенно, само множество событий делится на классы (подмножества). Отдельное случайное событие всегда есть событие из некоторого множества возможных. Различаются события прежде всего по их принадлежности к тому или иному подмножеству. Если же рассматриваемые события принадлежат к одному классу, т. е. если нет деления массового явления на подмножества, то и нет речи о теоретико-вероятностном подходе к анализу явлений.

Коль скоро введено деление рассматриваемого множества случайных событий на подмножества и сами эти события характеризуются по их принадлежности к определенному подмножеству, то встает задача о способах и средствах характеристики этих подмножеств. В теории вероятностей такие характеристики даются на основе представлений о случайных величинах. Не давая пока определения случайных величин, заметим, что в качестве та-

ковых выступают параметры, которые изменяют свои значения (индексы) при переходе от одного подмножества к другому: каждому подмножеству соответствует определенное значение некоторой случайной величины. Спектр возможных значений случайной величины может быть весьма разнообразным: от дискретного с небольшим числом значений до непрерывного на больших интервалах. В примере с игральной костью случайной величиной является выпадение той или иной грани. Число граней и их характеристика определяют возможные значения случайной величины. Каждое из возможных ее значений представляет вид событий, могущих иметь место при опытах с данной костью. В молекулярной теории газов случайной величиной является состояние отдельных молекул газа. В современной физике в качестве случайных величин обычно выступают так называемые наблюдаемые величины.

Говоря о спектре возможных значений случайной величины, необходимо отметить следующее. При повторении измерений любой физической величины мы никогда не получим абсолютно одни и те же результаты. Вообще всякое измерение производится с некоторой степенью точности. При измерении величины мы в сущности получаем не определенное ее значение, а лишь пределы, между которыми она заключена. В этих пределах величина фактически изменяется при переходе от одного измерения к другому. Отсюда возникает вопрос: не является ли каждая физическая величина по существу вероятностно-случайной, поскольку при ее опытном задании всегда определяется спектр ее значений? Однако между указанными двумя случаями имеется весьма существенное различие.

При измерении значения некоторой величины, не вероятностно-случайной, спектр полученных значений определяет границы, между которыми заключено искомое значение величины, степень точности, с которой она измерена. Грубо говоря, здесь основываются на том положении, что существует лишь одно истинное значение измеряемой величины, а остальные обусловлены наличием ошибок измерения.

В случае вероятностно-случайной величины каждое ее значение из спектра возможных равным образом рассматривается как истинное. При этом предполагается, что

при опытном задании любого из числа возможных значений вероятностно-случайной величины также возможны ошибки измерения, но они обычно имеют одинаковый порядок для всех значений определенной вероятностно-случайной величины и на этом основании исключаются при ее рассмотрении.

3. *Независимость.* Характеристика случайного события по его принадлежности к тому или иному подмножеству еще не определяет условия его вхождения в рассматриваемое массовое явление. Для определения случайного события весьма важен ответ на вопрос: как соотносятся случайные события друг с другом уже в рамках самого массового явления?

В случае жестко детерминированных систем их элементы, как уже отмечалось, находятся в такой взаимосвязи и взаимообусловленности, что их взаимный переход (от характеристик одного элемента к характеристикам другого) определен однозначным образом, т. е. существуют (в принципе) алгоритмы, позволяющие весьма строго переходить от одного элемента к другим во всей системе. Другими словами, жестко детерминированные системы построены на признании прямых (непосредственных) зависимостей между элементами.

В противоположность этому для случайных массовых явлений существенно отсутствие каких бы то ни было прямых зависимостей между элементами (событиями). Ни одно из событий не отягчает, так сказать, свою память каким бы то ни было знанием о других событиях; каждое событие «ведет» себя абсолютно независимо от того, что «делают» другие. В рамках всего массового явления события независимы друг от друга. Результат каждого броска кости не определяется никакими другими — ни предшествующими, ни последующими — результатами бросков. Напротив, если обнаруживается такая закономерность, то исследование соответствующих процессов начинает выходить за рамки собственно теории вероятностей. Последняя исходит из положения, что никакой закономерности во взаимосвязях между отдельными значениями случайной величины (между событиями) нет. При повторении бросков кости изменения в значениях случайной величины (выпадение той или иной грани) могут происходить и действительно происходят весьма произвольно, неопределенно, отсюда и говорят — слу-

чайно. Именно поэтому данным событиям и величинам был дан эпитет «случайные». Эти свойства случайных величин Р. Мизес охарактеризовал как невозможность «выбора системы игры».

С точки зрения представлений о независимости случайных событий, особо просто выявляется принципиальное значение факта разнообразия во внутреннем строении теоретико-вероятностной модели массового явления — деления всего множества на подмножества или обязательного наличия различных возможных значений случайной величины. Данное разнообразие служит предпосылкой познания и проявления независимости: независимость может проявиться лишь в разнообразии.

Если между отдельными проявлениями значений случайной величины, между отдельными случайными событиями нет никаких зависимостей, то, естественно, встает вопрос: на основании чего, какова природа объединения их в нечто целое, и имеем ли мы вообще право рассматривать их как целое?

Выше мы видели, что объединение случайных событий в некоторое целое производится опосредованно — по их принадлежности к тому или иному подмножеству рассматриваемого множества событий. По-видимому, следует специально подчеркнуть, что такое объединение отнюдь не означает, что оно производится по некоторым внешним параметрам или признакам. Совсем наоборот, эти объединения основываются на выделении и учете глубинных свойств и связей в соответствующих объектах исследования. Так, например, люди могут вести себя совершенно независимо по отношению друг к другу, но уже тот «параметр», что они — люди, определяет наиболее существенные особенности поведения элементов этого множества. Поведение членов некоторого коллектива также может быть весьма независимым, но их принадлежность именно к данному коллективу определяет основные существенные черты его элементов. Аналогичным образом поведение элементарных частиц также может быть весьма независимым, но такие внутренние параметры, как величина спина и четность, уже определяют весьма существенные особенности их поведения.

Параметры, характеризующие принадлежность событий к определенным подмножествам и самим множествам, связаны с раскрытием более глубокой сущности

соответствующих объектов исследования. Вместе с тем само их определение тесно связано с характеристикой среды и поведением системы в целом в этой среде. Полное определение подмножеств и самих множеств включает в себя и внешние условия их бытия.

В связи с рассматриваемой особенностью случайных событий необходимо сделать одно замечание терминологического плана. Поскольку каждое отдельное событие характеризуется через его принадлежность к определенному подмножеству (классу событий), то в теории вероятностей сложился специальный язык: под (определенным) событием понимается все подмножество, а отдельные случайные события, образующие такие подмножества, называются элементарными случайными событиями. Другими словами, когда говорят о случайном событии, то имеют в виду прежде всего факт принадлежности элементарных событий к определенному подмножеству соответствующего массового явления.

Рассматривая переход от жестко детерминированных систем к массовым случайным явлениям, мы видим явный скачок, так сказать, от одной крайности (полная зависимость элементов друг от друга) к другой (достаточно полная независимость). Здесь напрашивается аналогия с развитием физических представлений о структуре материи: вначале физика исследовала чисто корпускулярный аспект в строении материи, затем — чисто непрерывный, а современная физика поставила вопрос об их синтезе. Кто знает, может быть в дальнейшем произойдет некоторый аналогичный синтез рассматриваемых зависимости и независимости? Определенное основание этого можно видеть в том, что в теории вероятностей в последние годы все больше внимания уделяется исследованию определенных форм зависимостей (цепи Маркова и др.).

4. *Устойчивость частот и вероятность.* В каждом случайном массовом явлении случайная величина неоднократно, практически неограниченное число раз, может пробегать (принимать) каждое из своих возможных значений. Другими словами, каждое из событий (памятуя, что оно характеризуется принадлежностью к определенному подмножеству) в случайном массовом явлении может встречаться (или воспроизводиться) в массовом масштабе. При этом весьма существенно, что с возраста-

нием числа событий относительная частота встречаемости каждого из них (относительный «вес» каждого подмножества) обладает устойчивостью, т. е. проявляет ясно выраженную тенденцию группироваться вокруг некоторого постоянного значения. Под относительной частотой ν некоторого случайного события A (характеризуемого определенным значением случайной величины) при условиях S понимают отношение числа появления этого события μ к общему числу событий n : $\nu = \frac{\mu}{n}$. Эти устойчивые

значения частот не изменяются при воспроизведении соответствующего массового случайного явления в тех же условиях. Устойчивость частот составляет замечательную особенность случайных величин, и она как раз обусловлена существованием вероятности: данные устойчивые значения частот рассматриваются как проявление вероятности и ее численных значений, присущих исследуемым объектам и процессам, характеризующим с помощью случайных величин. В примере с игральной костью (если она «честная», т. е. имеет правильную геометрическую форму и однородна по своему внутреннему строению) в больших сериях испытаний каждая из граней выпадает примерно в $1/6$ части всех случаев, и это значение рассматривается как выражение вероятности выпадения каждой из граней кости.

Представления об устойчивых частотах позволяют весьма наглядно определить вероятность, наиболее прямо и непосредственно вскрыть ее объективное содержание. «По-видимому,— пишет А. Н. Колмогоров,— с чисто формальной стороны о вероятности нельзя сказать ничего больше следующего: вероятность $P(A/S)$ есть число, вокруг которого при условиях S и при предусмотренных этими условиями способах формирования серий имеют тенденцию группироваться частоты, причем при возрастании численности этих серий в разумных пределах, не нарушающих однородности условий, эта тенденция проявляется со все большей отчетливостью и точностью, достигая достаточных в данной конкретной обстановке надежности и точности при достижимых численностях серий»⁴.

⁴ А. Н. Колмогоров. Теория вероятностей.— В сб.: «Математика, ее содержание, методы и значение», т. II, М., 1956, стр. 275.

Все основные успехи, все практическое значение современной теории вероятностей основано прежде всего на связи между вероятностью и частотой. А. Я. Хинчин в этой связи писал: «Физик, биолог, техник, социальный статистик, говоря о вероятности, неизменно имеют в виду некоторую относительную частоту. Более того, даже математик в те особые моменты своей работы, когда, прерывая цепь формальных умозаключений, он вынужден обращать свою интуицию на предметное содержание своих понятий, по большей части склонен представлять себе каждую вероятность именно как относительную частоту. Это не значит, конечно, что вероятность как понятие математической теории должна вмещать в себе всю совокупность свойств и особенностей, присущих реальным частотам... Это означает только то, что теория вероятностей должна быть достаточно точным формальным и, следовательно, абстрагированным образом той структуры, тех возможностей, какие имеют место в мире реальных частот»⁵.

Итак, раскрытие содержания случайной величины привело нас через представление об устойчивых частотах к представлению о вероятности: устойчивые частоты — это формы проявления вероятности подобно тому, как треки в камере Вильсона, почернения в фотоэмульсиях, показания счетчиков и тому подобные макроскопические явления — это формы проявления взаимодействий элементарных частиц, или подобно тому, как поступки человека — это форма проявления его характера. И аналогично тому, как на основе анализа треков в пузырьковой камере делаются выводы о свойствах элементарных частиц или на основе поступков человека судят о его характере, так, исходя из устойчивых частот, делают выводы о вероятностях соответствующих событий, и прежде всего о численных значениях этих вероятностей. Имея в виду выражение «сущность является, явление существенно», можно сказать, что вероятность предстает в виде устойчивых частот, устойчивые частоты говорят о сущности вероятности.

Частотный подход к определению вероятности означает, что последняя рассматривается как характеристи-

⁵ А. Я. Хинчин. Частотная теория Р. Мизеса и современные идеи теории вероятностей.— «Вопросы философии», 1961, № 1, стр. 96.

ка массовых явлений, поскольку понятие частоты имеет смысл лишь в связи с массовыми явлениями. Массовый аспект выступает здесь как одна из важнейших, принципиальных черт теории вероятностей, лежащая в самом ее основании.

Вероятность, по определению, сопоставляется отдельному событию (виду элементарных событий), что соответствует ее соотнесению с некоторым из возможных значений случайной величины. Однако любое теоретико-вероятностное массовое явление принципиально обладает разнообразием, т. е. характеризуется различными (минимум двумя) событиями, различными возможными значениями случайной величины. Соответственно этому теория вероятностей исходит из того, что каждое из событий массового явления характеризуется определенной вероятностью, а само массовое явление — распределением вероятностей.

Само слово «распределение» вероятностей указывает на его содержание. Распределение вероятностей случайной величины определяется спектром возможных ее значений (событиями) и вероятностями, характеризующими каждый выделенный участок ее спектра. Например, если случайная величина принимает дискретный ряд значений, то ее распределение задается указанием возможных значений $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$ этой величины и соответствующих им вероятностей $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$. Распределения могут быть как дискретными, так и непрерывными. Математически они могут выражаться различными способами, и прежде всего функциями распределения, характеристическими функциями, плотностью вероятности. Соответственно этому говорят о законе распределения вероятностей и наличии различных эквивалентных выражений этого закона.

Представления о распределении вероятностей являются более общей характеристикой, нежели просто представления о вероятности отдельного события. Определение вероятности случайного события по существу основывается на представлении о распределениях, поскольку определение вероятности любого события A можно дать, лишь определив вероятность противоположного ему события $\text{не-}A$. Другими словами, когда говорят просто о вероятности события, то исследуются свойства и закономерности простейших распределений, с минимально

возможным разнообразием. Переход собственно к языку распределений вероятностей происходит при усложнении разнообразия. Соответственно этому М. Лоэв пишет, что «понятие случайной величины является более общим, чем понятие случайного события»⁶.

Распределение в случайном массовом явлении означает, что, несмотря на непрерывное, совершенно беспорядочное изменение значений случайной величины в опыте (например, в сериях бросков кости), относительное число элементов с определенным значением величины весьма устойчиво. На основе представлений о вероятностном распределении получает более строгое определение понятие о случайной величине: случайной величиной называется такая переменная величина, которая совершенно произвольно (отсутствует какая-либо закономерность) пробегает спектр возможных значений и для которой определено распределение вероятностей.

Понятие распределения вероятностей (или просто распределения) является центральным в теории вероятностей. Оно представляет собой структурную характеристику абстрактной теоретико-вероятностной системы случайных явлений — выражает наличие внутренней упорядоченности в этой системе, характер синтеза дифференциального и интегрального аспектов в ее строении, определенную общность в поведении ее элементов при определенных условиях. На основе понятия распределения объединяются другие понятия теории вероятностей, имеющие принципиальное значение для понимания и раскрытия содержания всей теории. При помощи этого понятия характеризуются элементы вероятностных систем, их взаимосвязь и основания их вхождения в системы и сами системы в целом. В последнем отношении весьма существенно задание внешних условий бытия систем, что традиционно учитывается в самих определениях вероятностей.

Представления о распределениях играют центральную роль в самых разнообразных приложениях теории вероятностей. Именно на их основе получают выражение закономерности природы, исследуемые методами теории вероятностей. *«Некоторое свойство,— подчеркивает М. Лоэв,— является теоретико-вероятностным тогда*

⁶ М. Лоэв. Теория вероятностей. М., 1962, стр. 15.

и только тогда, когда оно описывается с помощью распределений»⁷.

Рассмотренные понятия, начиная от случайного события и кончая распределением вероятностей, лежат в основе теории вероятностей, образуя ее, так сказать, понятийный фундамент. Дальнейшее ее развитие идет главным образом по пути раскрытия правил оперирования вероятностями, законов перехода от одних вероятностных распределений к другим. Мы не будем останавливаться на математическом развитии теории вероятностей. Заметим только, что оно отнюдь не сводится к простой дедукции: в ходе разработки теории возникают новые понятия и представления, что обеспечивает развитие самой теории. Дедукция в математике, как и вообще в науке, нужна прежде всего для внутренней организации уже освоенного знания, что придает ему силу и действительность. И вся дальнейшая разработка теории вероятностей есть развитие самой идеи вероятности, без анализа чего невозможно полное и последовательное философское раскрытие ее сущности.

В заключение отметим, что представления о вероятностно-случайных величинах явились обобщением громадного опытного материала. Вместе с тем, однажды выработавшись, эти представления легли в основу новых методов теоретического анализа явлений природы, что привело к еще большему расширению областей научного исследования. В настоящее время один только перечень областей исследования, характеризующихся вероятностно-случайными величинами, занял бы много места: рассеяние снарядов, шумы и помехи в радиоустройствах, организация работы телефонных станций, энергетические состояния некоторой совокупности атомов, рассеяние элементарных частиц при их столкновениях, скорость молекул в газе, болтанка самолета, отступления от стандартных размеров при производстве деталей, индивидуальные отклонения в характеристиках особей вида, вес зерен кукурузы, статистические данные в экономике и т. д. и т. п.

⁷ Там же, стр. 183

2. К дискуссиям относительно определения вероятности

Хотя исключительно частотный, или, как иногда говорят, статистический, подход к определению вероятности и обуславливает наиболее полное раскрытие ее объективных основ во всех нынешних практических применениях, и прежде всего в естественных и технических науках, однако он еще не снимает многих вопросов определения вероятности. При частотном подходе вероятности по существу определяются исключительно апостериорно: над исследуемым материальным объектом или системой производятся серии определенных действий или наблюдений, результаты подвергаются статистической обработке, и, если они обнаруживают устойчивость частот, тогда говорят, что исследуемый объект или система характеризуются определенными значениями вероятности. Вероятность выступает как характеристика, относящаяся к материальному объекту или системе, но проявляющаяся лишь чисто внешне — через частоты.

Другими словами, чисто статистический подход к определению вероятности фактически исключает возможность сугубо теоретических способов введения вероятности в анализ исследуемых областей действительности. В таком случае встает вопрос: можно ли связать вероятность с некоторыми внутренними свойствами объектов, с их строением и закономерностями поведения, причем связать таким образом, чтобы, минуя частоты и независимо от них, можно было определить значения вероятностей, характеризующих данный объект исследования? Такой вопрос не лишен смысла прежде всего потому, что в развитии теории вероятностей существовало так называемое классическое определение вероятности и этим определением довольно широко пользуются и в настоящее время.

Классическое определение вероятности является исторически первым, получившим широкое распространение; именно оно обосновывалось на простейших примерах применения теории вероятностей — на азартных играх в кости и в карты. В классическом случае вероятность некоторого события определяется на основе представлений о равновозможности. Это означает, что для определения вероятности подсчитывается число возможных

исходов рассматриваемого процесса; по тем или иным соображениям каждый из исходов рассматривается как равноценный, а отсюда уже вытекает, что вероятность некоторого отдельного исхода равняется отношению единицы к общему числу равновозможных исходов. Соответственно этому вероятность выпадения некоторой грани кости определялась равной $1/6$ (6 равновозможных исходов) или вероятность того, что вытасченная наудачу из колоды карта окажется семеркой пик, определялась равной $1/36$ (36 равновозможных исходов).

Классическое определение вероятности подверглось критике во многих отношениях. Прежде всего указывалось, что оно содержит в себе порочный круг, поскольку вероятность определяется через равновозможность, которая по сути дела тождественна равновероятности, а равные вероятности можно определить только на основе представлений о самих вероятностях. Действительно, если иметь в виду просто словесное выражение классического определения вероятности, то порочный круг налицо. Однако дело не только в словесном определении: гораздо важнее разобраться, как, каким образом складывались реальные представления о равных возможностях.

Если мы рассмотрим те реальные ситуации, на которые опиралось классическое определение вероятности, то увидим, что представление о равных возможностях или равных вероятностях отнюдь не ведет к порочному кругу. В случае с игральной костью соображения о равных возможностях основывались на таких предпосылках, как правильная геометрическая форма кости, однородность материала, из которого она сделана, и выполнение определенных условий в процессе ее бросания. Точно так же вероятностное утверждение, что вытасченная наудачу из колоды карта окажется семеркой пик, основывается на предпосылках об определенном строении самой колоды карт (число, полный перечень карт и хорошая их перетасовка) и дозволенных способах их вытаскивания. Аналогично обстоит дело во всех случаях, когда пользуются классическим определением вероятности.

Исходя из рассмотренных примеров, можно заключить, что при классическом определении вероятности представление о равных возможностях основывается на

определенных данных о строении (структуре) соответствующих материальных систем (кость, колода карт и т. п.) и определенных условиях их поведения (соблюдение правил бросания кости, условий вытаскивания карты и т. д.). Если такие предпосылки не выполнены, то утверждение о равных возможностях сразу же теряет смысл.

Для характеристики представлений о равновозможности в классическом определении вероятности существенно не то, что они содержат возможность порочного круга, а то, что они опираются на идеи о симметрии, а точнее — на идеи о наличии простейшей симметрии в строении рассматриваемых материальных объектов или систем. Представления же о симметрии как раз и являются структурными характеристиками материальных объектов и процессов. Однако в случае классического определения связь между вероятностью и структурными характеристиками исследуемых объектов и процессов не получала строгого количественного выражения, она носила качественный, описательный характер, и о ней ничего нельзя было сказать при переходе к более сложным случаям, как, например, при переходе от правильной игральной кости к неправильной. В этих случаях равные возможности превращались в неравные, для сравнительной количественной характеристики которых идеи симметрии теряли свое значение.

При оценке степени неравенства разных возможностей стали переходить к представлениям об относительных частотах, которые давали более широкий базис для определения вероятности. Сами равные возможности начали раскрывать через представления о частотах, а это уже действительно приводило к порочному кругу, поскольку о равновозможности стали говорить на основе определения самих вероятностей. Представление о равновозможности утратило свой первоначальный глубокий смысл — связь вероятности с внутренним строением соответствующих материальных систем.

По мере развития теории вероятностей частотный подход к ее основам стал абсолютизироваться — частота рассматривалась теперь как единственный и исчерпывающий базис для определения вероятности.

В развитии частотного подхода к основам теории вероятностей громадное значение имели работы Рихарда

Мизеса. Со своими идеями по обоснованию вероятности Мизес выступил в 20-х годах нашего века, и сразу же его частотная теория нашла большое число сторонников среди математиков, особенно же среди представителей естественных и технических наук. «В то время,— пишет А. Я. Хинчин,— во всех руководствах и трактатах, посвященных теории вероятностей, безраздельно господствовала старая, без всяких изменений перенятая от Лапласа система основ; нет никакого сомнения, что каждому мыслящему исследователю непригодность этой системы, несоответствие ее тому уровню, на который поднялась со времени Лапласа математическая наука, были совершенно очевидны; от времени до времени можно было даже встретить отдельные эпизодические высказывания по этому поводу; и тем не менее каждый автор, начиная свой трактат, неизменно говорил о равновозможных и благоприятных случаях, стараясь, впрочем, как можно скорее оставить эту неприятную тему и перейти к дальнейшему, не таящему в себе уже никаких подводных камней, спокойному течению теории»⁸.

Перед лицом интенсивного развития теории вероятностей и не менее интенсивного ее вторжения в естествознание в начале нашего века такое легкое отношение к анализу оснований самой теории становилось все более нетерпимым.

Мизес подверг критике классическую систему обоснований вероятности. Он показал, что классическое толкование вероятности с его идеей равновозможности обладает крайне ограниченной областью применения; оно не «работает» в естествознании по меньшей мере в наиболее интересных и важных случаях. Это безусловно означало, что при помощи классического метода удовлетворительного фундамента теории не построишь.

Однако главной в работах Мизеса по обоснованию теории вероятностей является, конечно, его позитивная программа. Кладя в основу трактовки теории вероятностей представление о частотах событий, Мизес определяет вероятность как предел относительной частоты:

$$p = \lim_{n \rightarrow \infty} \nu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\mu}{n} .$$

⁸ А. Я. Хинчин. Частотная теория Р. Мизеса и современные идеи теории вероятностей.— «Вопросы философии», 1961, № 1, стр. 94.

Данное определение вероятности он рассматривает как эмпирическое.

Соответственно этому для раскрытия опытной основы теории вероятностей Мизес вводит представление об иррегулярных коллективах как последовательностях исходов испытаний или наблюдений. Иррегулярные коллективы характеризуются следующими тремя основными свойствами: 1) бесконечным числом составляющих, членов этих коллективов; 2) существованием пределов относительных частот в тех подпоследовательностях, на которые распадается исходный, или основной, коллектив и которые различаются по тому или иному признаку из некоторой их определенной группы; 3) иррегулярностью, т. е. инвариантностью этих пределов по отношению к любым изменениям в подпоследовательностях, и прежде всего инвариантностью по отношению к любым перестановкам и извлечениям.

Таковы основы частотной концепции вероятности Р. Мизеса. Как легко заметить, она во многом напоминает рассмотренное выше толкование вероятности, исходящее из представлений о вероятностно-случайных величинах. Оба подхода являются частотными, поскольку вероятность в обоих случаях определяется через частоту. Признаки, по которым различаются подпоследовательности в иррегулярных коллективах Мизеса, — не что иное, как характеристики спектра возможных значений случайной величины. Иррегулярность есть выражение того факта, что появление какого-либо одного значения случайной величины совершенно не зависит от появления других ее значений.

Вместе с тем частотная концепция Мизеса имела ряд слабых мест, преодоление которых привело к принципиальному изменению самой частотной трактовки вероятности. Прежде всего можно заметить, что требование наличия бесконечного числа членов в иррегулярных коллективах несовместимо с тем, что эти коллективы представляют эмпирическую основу вероятности: реально невозможно производить бесконечные последовательности испытаний или наблюдений. Далее, более существенно то, что утверждения о существовании пределов относительных частот в иррегулярных коллективах не имеют математического смысла. Этот момент особенно резко подчеркивают сами математики. «Самое понятие преде-

ла в его обычном понимании,— пишет А. Я. Хинчин,— применимо лишь к индивидуальной, закономерно определенной последовательности. Там, где закономерностей, определяющих данную последовательность, нет и принципиально быть не может, нельзя даже ставить вопроса о существовании или несуществовании предела»⁹.

Далее А. Я. Хинчин специально отмечает, что речь идет не просто о взаимной противоречивости или несовместимости требований о существовании предела и об иррегулярности в применении к коллективам Мизеса, а о том, что понятие предела не применимо, не имеет смысла в отношении иррегулярных коллективов, как не имеет смысла утверждение «синус угла весит более одного грамма». «Мы совершенно уверены в том,— продолжает он,— что дизъюнкция существования и несуществования предела к понятию иррегулярной последовательности неприменима в таком же смысле, как дизъюнкция тяжелого и легкого понятия синуса. Нам представляется очевидным, что применение ее в данном случае основано на иллюзии: математики всегда фактически оперируют с закономерно определенными последовательностями, с полным правом применяя к ним эту дизъюнкцию; не встречаясь с другими последовательностями, они невольно приучают себя к определению, будто эта дизъюнкция применима к любой последовательности, и вслед за этим, встретив последовательность иррегулярную, полагают, что в ней предел либо существует, либо не существует, не замечая, что поступают при этом как тот, кто собирается положить синус на чашку весов»¹⁰.

Поскольку выше был рассмотрен современный частотный подход к определению вероятности, нам теперь нетрудно сделать вывод, что утверждения Мизеса о существовании предела в иррегулярных коллективах есть попросту гипертрофирование факта устойчивости частот. Устойчивость относительных частот есть несомненный опытный факт, и речь идет об адекватных способах его математического выражения. Сложившиеся представления о пределе для этой цели оказались неприменимыми, и поэтому в настоящее время, как уже отмечалось, говорят просто о тенденции частот при определенных усло-

⁹ А. Я. Хинчин. Частотная теория Р. Мизеса..., стр. 79.

¹⁰ Там же, стр. 80.

виях группироваться вокруг некоторого постоянного значения.

Приведем в этой связи высказывание А. Н. Колмогорова: «Допущение о вероятностном характере испытаний, т. е. о тенденции частот группироваться вокруг постоянного значения, само по себе бывает верно (как и допущение о «случайности» какого-либо явления) лишь при сохранении некоторых условий, которые не могут сохраняться неограниченно долго и с неограниченной точностью. Поэтому точный переход к пределу $\frac{\mu}{n} \rightarrow p$ не может иметь реального значения. Формулировка принципа устойчивости частот при обращении к такому предельному переходу требует определения допустимых способов отыскания бесконечных последовательностей испытаний, которое тоже может быть лишь математической фикцией: Все это нагромождение понятий могло бы еще подлежать серьезному рассмотрению, если бы в результате получилось построение теории столь своеобразной, что иными путями до ее строгого обоснования нельзя было бы дойти»¹¹.

Концепция Мизеса относительно существования пределов в иррегулярных последовательностях подверглась острой критике с точки зрения, так сказать, собственно математических интересов, хотя, несомненно, эти вопросы имеют серьезное методологическое значение, поскольку связаны с анализом такого существенного для математики понятия, как предел. Наиболее серьезные возражения в методологическом плане концепция Мизеса вызывает по вопросу обоснования причин устойчивости частот событий, исследуемых в теории вероятностей, и связанному с этим вопросу о возможностях теоретического прогнозирования вероятностей.

«Частоты событий,— пишет А. Я. Хинчин,— только тогда могут быть связаны с определенными вероятностями, если они устойчивы, т. е. если мы, как правило, в любой большой серии испытаний получаем для них приблизительно одни и те же значения. Если мы говорим, что при бросании «правильной» игральной кости вероятность

¹¹ А. Н. Колмогоров. Теория вероятностей.— В сб.: «Математика, ее содержание, методы и значение», т. II, М., 1956, стр. 274—275.

выпадения пятерки равна $\frac{1}{6}$, то мы тем самым предполагаем (основываясь фактически на многократном опыте), что в данной серии бросаний мы почти всегда будем наблюдать выпадение пятерки примерно в одной шестой части всех случаев. Если бы долговременный опыт показал нам, что в различных таких сериях частота выпадений пятерки бывает весьма различна, то мы просто заключили бы, что к данному событию понятие вероятности не применимо. Таким образом, аппарат теории вероятностей может быть применим лишь к таким явлениям, где частоты событий обладают устойчивостью. Но что это за явления? Какими чертами должно обладать явление природы (или технический прогресс) для того, чтобы частоты связанных с ним событий обладали устойчивостью? И как можно было бы, не производя эксперимента, из закономерностей, управляющих самим явлением, определить теоретическим путем, принадлежит ли оно к классу явлений с устойчивыми частотами или нет?

Ответы на эти вопросы имеют фундаментальное значение для методологически правильной разработки вероятностных концепций»¹².

В концепции Мизеса вопрос объяснения причин устойчивости частот снят с рассмотрения; более того, в ней вообще оспаривается сама правомерность его постановки. Эта концепция требует лишь, чтобы частоты событий, исследуемых методами теории вероятностей, стремились к некоторым пределам при неограниченном повторении испытаний. Если частота выпадения, например, пятерки при неограниченном увеличении числа бросков игральной кости стремится к известному пределу (при наличии некоторых добавочных условий, которые здесь несущественны), то говорят, что вероятность этого события существует и равна значению предела. В противном случае, если в выпадении пятерки никакого предела не существует, то просто говорят, что данное явление не имеет вероятности и не подпадает под методы теории вероятностей. Дальнейший анализ понятия вероятности в связи с анализом объекта исследования события объявляется совершенно излишним.

¹² А. Я. Хинчин. Метод произвольных функций и борьба против идеализма в теории вероятностей.— В сб.: «Философские вопросы современной физики». М., 1952, стр. 522—523.

Вообще надо сказать, что ансамбли в концепции Мизеса рассматриваются только как ансамбли наблюдения, результатов опыта. Так, в случае с игральной костью имеют значение только результаты выпадения кости, а свойства, строение и закономерности движения кости, связанные с ее броском и падением, никакого отношения к анализу понятия вероятности, согласно концепции Мизеса, не имеют. Здесь результаты бросков кости принимаются за основу дальнейших расчетов, а все рассуждения о причинах таких результатов объявляются лежащими вне положительной науки. Но это означает, что мы фактически отказываемся от всякого теоретического расчета и предсказаний количественных значений вероятности на основе данных о свойствах, строении и законах движения соответствующих материальных объектов. Это и имеют в виду, когда говорят, что концепция Мизеса отказывается от анализа объективных причин устойчивости и возможности вычислений количественных значений частот.

Позиция Мизеса по вопросу о причинах устойчивости частот подверглась резкой философской критике прежде всего в работах советских математиков. В работах наших ученых также указана причина появления таких взглядов на вероятность — позитивистский подход к решению общих вопросов науки. Позитивизм, как известно, в конечном счете приходит к абсолютизации роли и значения явлений, внешних проявлений, формы, наблюдений в процессе познания, рассматривая их как единственные непосредственно данные науки. Соответственно этому сущность вещей рассматривается позитивизмом как нечто, целиком и полностью определяемое этими непосредственными данными, в частности наблюдениями. За сущностью не признается объективной, самостоятельной, независимой ценности. Явления, наблюдения определяют, обуславливают сущность, но сущность не может обуславливать сами непосредственно данные: обратные связи здесь носят сугубо логический характер, их природа определяется деятельностью познающего ума.

Отрицая самостоятельную значимость сущности, позитивизм тем самым отрицает самостоятельную значимость теоретических положений науки. Однако человеку в его отношении к природе даны не просто явления и наблюдения, а прежде всего материальные объекты и си-

стемы, которые как бы распадаются на явления и сущность. Через наблюдения лежат пути раскрытия сущности, но последняя обуславливает первые.

Согласно частотной концепции Мизеса, задача теории вероятностей состоит лишь в простом согласовании одних наблюдений с другими. То, что наблюдается в опыте, здесь не рассматривается как результат такого взаимодействия тел, по которому судят об определенных свойствах, строении тел и закономерностях их поведения. Соответственно этому в частотной концепции не встает задача обоснования устойчивости частот. Напротив, эта задача могла быть поставлена только на базе материалистического решения вопроса о природе познания.

Конечно, поставить задачу еще далеко не значит ее решить. Если же бояться выйти в теоретических обобщениях за рамки непосредственных данных, что весьма характерно для узкого практицизма и позитивизма, то вообще невозможно избавиться от сомнения в правомерности самой постановки задачи, если неизвестно ее конкретное решение. Если не видели атом, то вообще неправильно говорить о его существовании, если не «пощупали» звезду, то нельзя говорить о ее составе и т. п. Однако через осознание самой постановки задачи можно быстрее и правильнее теоретически двигаться к ее решению, хотя впоследствии такое решение в силу обратных связей корректирует саму постановку задачи. В нашем исследовании природы последняя отвечает на те вопросы, которые мы ей ставим. Отсюда вытекает, что умение поставить вопрос, сформулировать задачу необходимо для движения в область неизвестного. Разумеется, речь идет о внутренне обоснованной постановке вопроса.

Вопрос о причинах устойчивости частот в настоящее время можно считать именно только поставленным. Он связан с пониманием самой вероятности, опирается на определенные опытные данные и теоретико-познавательные представления. Его решение еще не предвидится, хотя некоторые усилия в этом направлении и предпринимаются. Особого внимания среди попыток его решения заслуживает так называемый метод произвольных функций, развитый в основном в работах А. Я. Хинчина.

Сущность метода произвольных функций кратко состоит в следующем. Рассмотрим пример с бросанием кости. Пусть опыт поставлен так, что случайные воздей-

ствия на кость во время ее движения (сопротивление воздуха) можно считать пренебрежимо малыми. Тогда движение кости происходит по законам классической механики, и результат опыта можно предсказать достоверно, если известно ее начальное состояние (начальное положение и начальная скорость). Практически же начальные состояния кости в каждом отдельном броске отличаются одно от другого, что и приводит к различным результатам выпадения кости. Методом произвольных функций доказывается, что при очень широких допущениях относительно распределения начальных состояний кости (отсюда и название метода) частоты этого события обладают устойчивостью и значения вероятности того или иного результата поддаются теоретическому прогнозированию.

Методом произвольных функций в настоящее время рассмотрены лишь простейшие случаи применения теории вероятностей. Это явления узкомеханической природы (консервативные механические системы). По отношению к более сложным случаям высказаны лишь общие соображения. Однако на основе уже проделанных в этом направлении исследований А. Я. Хинчин пришел к заключению, что «принципиальная возможность объективно-научного предвидения устойчивости и числовых значений реальных частот твердо установлена; в дальнейшем расширение круга применений найденного метода может в основном встретить лишь математические трудности технического порядка, правда, в наши дни еще довольно значительные»¹³.

Вместе с тем следует отметить, что идеи метода произвольных функций и его аппарат во многом, говоря словами физиков, близки к классике, т. е. по крайней мере явно в них не отражены современные математические идеи. Для современного развития теории вероятностей и математики вообще характерен аксиоматический, теоретико-множественный подход к их основам. Исходя из этого, с общей теоретико-познавательной точки зрения следует сказать, что продвинуться в решении вопроса о причинах устойчивости частот можно в том случае, если опираться на современные идеи по обоснованию матема-

¹³ А. Я. Хинчин. Метод произвольных функций...— В сб.: «Философские вопросы современной физики», стр. 530.

тики, которые исходят из теоретико-множественных представлений.

Постановка вопроса о причинах устойчивости частот говорит о том, что природа вероятности заключена во внутренних особенностях строения соответствующих материальных объектов. А именно на эту ее сторону и указывало классическое определение вероятностей. Отсюда следует, что частотный подход к вероятности необходимо дополнить своего рода классическим, но не в столь элементарной форме, в какой он был известен ранее. Р. Мизес в своей критике классического определения вероятности просто отбросил его, а не преодолел критически с сохранением его положительных идей. Новый, частотный подход утверждался им на основе разрыва связей с предшествующими идеями, а не как их логическое продолжение и обобщение. Любая абсолютизация частотного подхода аналогично встретится с такими же затруднениями, которые потребуют выхода за рамки самого частотного подхода.

Рассматривая вопрос об определении вероятности, А. Н. Колмогоров заметил однажды, что «понятие вероятности является качественно своеобразным и не поддающимся формальному определению через более простые понятия: так называемое «классическое определение» через подсчет числа «равновозможных» случаев и «статистическое определение» через частоту отражают лишь некоторые стороны этого понятия. Полнее его содержание раскрывается лишь постепенно в диалектическом процессе познания действительности»¹⁴.

И классический, и частотный подходы к определению вероятности показывают, что дальнейшее развитие вероятности связано с диалектическими обобщениями наших философских представлений о структурной организации материи.

¹⁴ А. Н. Колмогоров. К вопросу о распределении цели.— «Артиллерийский журнал», 1950, № 12, стр. 14.

V

Распределения как структурные характеристики

В предыдущей главе было отмечено, что основным представлением, основным понятием теории вероятностей является понятие распределения вероятностей или, кратко, понятие распределения. Применение вероятностных идей и методов исследования в естествознании как раз основано на признании фундаментального характера этого понятия. Только на основе представления о распределениях возможны сама постановка задач, выработка основных понятий и формулировка основных зависимостей (законов) в соответствующих (статистических) теориях науки. Недаром Н. Винер кратко определил статистику как науку о распределении¹. Именно распределения представляют теоретические средства для выражения и отображения той внутренней «гибкости» нашего мира, о которой говорилось выше.

Встает вопрос: чем же обусловлена такая роль распределений с точки зрения теории познания? Уже по самому определению распределений они есть не что иное, как структурные характеристики вероятностно-случайных массовых явлений, которые описывают последние с точки зрения их внутренней дифференциации и интеграции, расчлененности и общности. Однако если ограничиться высказываниями, что распределения суть структура, а структура — устойчивый синтез внутренней дифференциации и интеграции систем, то лучше вообще ничего не говорить, чтобы не создавать видимости решения пробле-

¹ См.: Н. Винер. Кибернетика и общество. М., 1958, стр. 24.

мы. Эти положения — философского характера. Их жизненность обусловлена их способностью к постоянному внутреннему развитию и обобщению. Применение, использование общих положений в реальных исследованиях не означает простого обнаружения все новых и новых форм их проявления. Методологическая роль философских положений велика лишь в том случае, если они обобщаются и преобразуются в ходе развития познания, а также анализируются пути и закономерности их обобщений и преобразований.

Идея относительности в физике, например, была известна задолго до разработки теории относительности. Однако об относительности с особой силой заговорили после создания этой теории. Почему? Отнюдь не потому, что теория относительности повторила идею относительности или явила собой новый пример ее в физике. «В теории относительности, пожалуй,— подчеркивается по этому поводу в Фейнмановских лекциях по физике,— есть кое-что и поглубже, чем наблюдение, что человек спереди выглядит иначе, чем сзади. Принцип относительности куда глубже этого, *ведь с его помощью мы можем делать определенные предсказания*. Но было бы более чем странно, если бы только это наблюдение позволило нам предсказывать поведение природы»². Огромное внимание к идее относительности после работ Эйнштейна было вызвано тем, что в теории относительности был сделан громадный шаг в сторону обобщения этой идеи. Характер обобщения, дающий объяснение релятивистских эффектов и развивший наши представления о пространстве и времени, и определил сущность теории относительности.

В свете сказанного основной философский интерес представляет не простое подведение категории структуры под представления о распределениях, а рассмотрение того, в чем в данном случае состоит обобщение этой категории, тем более, что последняя использовалась и в случае жестко детерминированных систем.

Выше отмечалось, что наиболее общие представления о структурной организации материи в настоящее время складываются в ходе разработки общего учения о слож-

² Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике, вып. 2. М., 1965, стр. 24.

ных управляющих системах, при этом отмечено особое значение идеи о различных уровнях кодирования информации и детерминации, идеи о синтезе микро- и макро-подходов в анализе строения систем и представлений об объекте как элементе систем. В плане этих соображений мы и рассмотрим представления о распределениях, которые соответствуют определенному этапу в развитии категории структуры.

1. Уровни внутренней организации в вероятностных системах

В свете сказанного раскрытие природы вероятности означает прежде всего анализ роли и значения вероятностных распределений в структуре соответствующего класса научных теорий. Отмечалось также, что для современного развития системных исследований весьма характерны проникновение на высшие уровни кодирования информации, выработка принципиально новых абстрактных понятий и включение последних в теоретические построения. Поэтому, рассматривая роль и значение вероятностных распределений в структуре теоретических систем, следует особое внимание обратить на место распределений в развитии обобщенных форм знания. При этом роль распределений наиболее значительна в более развитых случаях приложений теории вероятностей. Таковыми являются квантовые теории в физике.

Прежде чем рассмотреть вероятностную ситуацию в квантовой теории, сделаем несколько замечаний об особенностях использования в ней вероятностного языка. Если основу применения вероятностных идей и методов в естествознании образуют представления о вероятностных распределениях, то естественно предположить, что именно на языке самих распределений физических величин и должны в статистических теориях характеризоваться состояния физических систем, математически задаваться и решаться задачи. При этом основные уравнения каждой из статистических теорий должны выражать законы взаимосвязи между вероятностными распределениями соответствующих физических величин и законы изменения этих распределений во времени.

И действительно, такое положение наблюдается в ранних статистических теориях физики. Однако если мы

обратимся к математическому аппарату квантовых теорий, то здесь формулировка задач дается не на языке вероятностных распределений, а прежде всего с помощью волновых функций. На языке волновых функций в квантовых теориях характеризуются физические системы и их состояния; основные уравнения в квантовых теориях также формулируются для волновых функций. В то же время волновые функции носят довольно абстрактный математический характер, и весьма многие считают, что они вообще не имеют непосредственного физического смысла. Исторически волновые функции были введены в квантовую теорию чисто формально и утвердились в физике, когда удалось связать их с вероятностными распределениями: квадрат модуля волновой функции в некотором представлении определяет собой вероятность соответствующей физической величины. Связь волновых функций с вероятностью вообще оправдывает употребление их в квантовой теории; только установление этой связи позволило наполнить глубоким реальным смыслом весь абстрактный математический аппарат квантовой механики, что было сделано уже после разработки последнего.

Следует также отметить, что существуют квантовые системы («смешанные»), состояния которых не могут быть представлены с помощью волновых функций. В этих случаях они характеризуются при помощи так называемых матриц плотности. Ведущей идеей для понимания физического смысла этой характеристики также является идея вероятности, а сами матрицы плотности по сути дела представляют особую, математически весьма развернутую форму характеристики вероятностных распределений.

Переход от вероятностных распределений к волновым функциям при характеристике состояний физических систем содержит то принципиально новое, что внесла квантовая теория в представления о статистических закономерностях.

В чем же состоит эвристическая ценность этого перехода?

Использование волновых функций дало возможность вскрыть основную специфическую черту квантовых процессов — диалектически противоречивую корпускулярно-волновую природу микрообъектов — и сформулировать

соответствующие уравнения движения³. Волновые свойства у микрообъектов обнаруживаются в явлениях дифракции и интерференции и теоретически выражаются в принципе суперпозиции. Непосредственное использование вероятностных распределений для характеристики этих важнейших особенностей микропроцессов не может привести к успеху уже потому, что наложение вероятностных распределений, которые повсюду имеют положительные значения, не может объяснить появления интерференционных минимумов. Представления о волновых функциях оказались более гибкими, нежели ранее выработанные прямые характеристики вероятностных распределений, для выражения закономерных взаимосвязей между самими вероятностными распределениями величин в квантовой теории. Соответственно этому они позволяют более явно раскрыть логическую структуру вероятностных систем знаний.

Вместе с характеристикой микрочастиц при помощи волновых функций в квантовую теорию вошло представление о виде, характере, типе волновых функций, соответственно чему волновая функция может быть скаляром, вектором, спинором, псевдоскаляром, псевдовектором и т. д. Вид волновых функций достаточно однозначно определяется квантовыми свойствами микрочастиц — спином и четностью, которые с самого начала вводятся в теорию как характеристики волновых функций в целом. Другими словами, используемые в квантовой теории величины (за исключением ряда постоянных величин, не имеющих объяснения в теории и берущихся непосредственно из опыта) делятся на два класса: первый составляют так называемые наблюдаемые величины (например, координаты и импульс), которые в теории рассматриваются как типичные случайные (в теоретико-вероятностном смысле); второй класс образуют квантовые числа (спин и четность), которые являются характеристиками вероятностных распределений (волновых функций как особой формы их представления) в целом, их параметрами⁴.

³ Систематическое исследование этой проблемы проведено в работах М. Э. Омеляновского; см., например, его статью в книге «Ленин и современное естествознание» (М., 1969, стр. 139 и сл.).

⁴ На принципиальное значение деления языка квантовой теории на два существенно различных типа понятий, относящихся к раз-

Различия между этими классами понятий заключаются прежде всего в степени близости к непосредственно данному в физическом опыте. Первые выражают более внешние характеристики микрообъектов, вторые — более глубокие, внутренние характеристики. Первые позволяют индивидуализировать квантовые процессы, вторые носят обобщенный характер. Первые во многом тяготеют к классическим понятиям, вторые прежде всего выражают специфичность квантовых явлений. Первые более связаны с явлением, вторые — с сущностью, хотя несомненно, что сущность является, а явление существенно.

Естественно, что полнота теоретического выражения квантовых процессов достигается в том случае, когда используются понятия обоих классов, относящиеся к различным логическим уровням. Распределения представляют собой форму связи, синтеза в рамках единой теории этих двух классов величин с учетом их различной природы.

Подобная ситуация типична для всех случаев использования теории вероятностей для познания и выражения свойств и закономерностей материального мира. В этих случаях характеристики (параметры) объекта исследования делятся на два класса, относящиеся по существу к различным структурным уровням его организации. Характеристики первого, исходного уровня — те, которые постоянно и независимо изменяют свои значения при переходе от одного элемента к другому в исследуемом массовом явлении и соответственно каждое из значений которых рассматривается как случайное событие. Характеристики более глубокого уровня связаны с наличием определенных закономерностей, регулярностей в массе случайных событий и выражают эту регулярность. При этом весьма существенно — и это связано с сутью вероятностного духа исследования, — что характеристики обоих уровней относительно автономны, независимы друг от друга; характеристики второго уровня, определяя вид распределения, не определяют каждое конкретное случайное событие. Другими словами, характеристики высшего уровня лишь обобщенно, интегрально определяют характеристики низшего уровня. В то

личным логическим уровням, обращается внимание в статье И. П. Стаханова «Некоторые особенности квантово-механического описания» («Вопросы философии», 1966, № 9).

же время связи между характеристиками высшего уровня носят вполне определенный, жесткий характер. Возможность подобного сочетания различных классов характеристик при отображении свойств объекта исследования достигается тем, что соответствующие закономерности формулируются на языке распределений как зависимости между ними и их свойствами.

Обобщенная природа характеристик более глубокого уровня делает весьма гибкой их связь с характеристиками исходного уровня: одним и тем же значениям первых может соответствовать весьма обширный спектр значений вторых. Благодаря этому оказывается возможным теоретически вскрыть и отобразить различную степень изменчивости и подвижности отдельных уровней в структурной организации мира: устойчивые уровни отображаются на языке обобщенных характеристик, относительно изменчивые и подвижные — на языке первичных, исходных характеристик. Весьма существенно, что на уровне обобщенных характеристик зависимости носят строго однозначный характер. Соответственно этому можно заключить, что использование в исследованиях материальных процессов теории вероятностей не отвергает начисто жесткую детерминацию, но переносит ее действие на зависимости между более существенными характеристиками.

В свете ранее сказанного о наличии уровней кодирования информации в сложных системах (II, 1) легко заметить, что рассматриваемые два класса величин в теориях, основывающихся на вероятностных идеях, представляют два различных уровня кодирования информации, причем, что весьма существенно, эти уровни включают в себя определенную независимость (автономность) и объединены в пределах одной теории.

Конечно, в известном смысле вероятностный случай является конкретизацией общих соображений об уровнях кодирования информации и их взаимоотношений, но это такая конкретизация, которая опирается на весьма разработанную математику с ее строгостью суждений и, следовательно, вносит определенное обобщение в саму идею об уровнях информации и связи между ними.

Случайные величины в этих теориях, повторим, образуют первый, низший, уровень кодирования инфор-

мации. Они характеризуют некоторое множество элементов (событий), но под углом зрения не их непосредственной взаимозависимости, а их определенной упорядоченности, организованности в составе множества, обусловленной некоторыми скрытыми от внешнего наблюдателя глубинными причинами.

Другими словами, переход на более высокий уровень кодирования информации предполагает прежде всего наличие определенной упорядоченности на исходном, более низком уровне. Распределения (через волновые функции — в квантовой теории) выражают эту упорядоченность, структуру во множестве событий. Знаки второго, высшего уровня кодирования информации характеризуют эту структуру и тем самым характеризуют знаки низшего кода обобщенным, интегральным образом. Зависимость между знаками высшего и низшего кодов не непосредственная, прямая, как в случае жесткой детерминации, а опосредована структурой, типом упорядоченности во множестве знаков низшего кода, и в рамках этой структуры знаки низшего кода независимы, автономны по отношению к знакам высшего кода. Структура дает нам правила перекодирования информации, перехода от знаков низшего кода к знакам высшего и обратно; с другой стороны, поиск правил перекодирования есть раскрытие структуры.

Вполне возможно, что сказанное о взаимоотношении различных уровней кодирования информации имеет прямое отношение и к рассмотрению вопроса о взаимоотношении физики и химии, химии и биологии. Химия представляет собой более высокий уровень кодирования информации в сравнении с физикой, биология — в сравнении с химией. Соответственно этому понятия химии (биологии) соотносятся не непосредственно с понятиями физики (химии), а опосредованно — через определенную упорядоченность в системе последних. Понятия более высокого уровня кодирования информации выражают наличие и характер упорядоченности явлений, соответствующих нижележащему уровню.

Выше уже отмечалось, что полнота информации об объекте исследования достигается в тех случаях, когда используются знаки всех характеризующих объект уровней кодирования информации. Относительно замкнутой формой выражения знаний о некотором объек-

те исследования в современной науке является научная теория, ядром которой в развитых случаях служит некоторая система уравнений. Соответственно этому теории (ее основные законы и уравнения) устанавливает взаимозависимости между характеристиками (знаками) различных кодов. При этом в статистических теориях основной упор делается на раскрытие взаимозависимостей, существующих между знаками (величинами) высшего кода, и эти зависимости носят вполне жесткий характер. В этом заключается важнейшая роль языка волновых функций в формулировке квантовых закономерностей. Естественно, что, характеризуя жесткую зависимость между знаками высшего кода, соответствующие уравнения лишь интегральным, обобщенным образом характеризуют зависимости, относящиеся к знакам низшего кода. Тем самым современные научные теории включают идею внутренней структурной иерархии.

Для понимания природы законов перекодирования следует подчеркнуть то, что знаки как низшего, так и высшего кодов относятся к одним и тем же объектам. В квантовом случае, например, знаки различных кодов относятся к одним и тем же микрочастицам, являясь выражением их свойств. Отличия знаков различных кодов состоят в том, что они отражают различные уровни во внутреннем строении этих объектов, различную их сущность. Эти результаты наглядно показывают, что сущность вещей далеко не однозначно и жестко связана с явлениями (с соответствующими проявлениями вещей в их взаимодействиях друг с другом), что она имеет весьма многообразные и независимые одно от другого проявления и раскрывается через определенную упорядоченность в соответствующих множествах явлений. По-видимому, аналогичные суждения сохраняют силу и для рассмотрения дальнейших переходов от сущности первого порядка к сущности более высокого порядка.

Вместе с тем необходимо еще раз подчеркнуть, что в этом движении познания представления о жестких связях не отрицаются начисто, а ограничиваются и переносятся на уровень зависимостей между знаками высшего кода, выработанного в процессе анализа соответствующих объектов исследования. Раскрытие этих зависимостей на высших уровнях приводит к тому, что связи между элементами (знаками) нижележащего уровня

кодирования информации приобретают относительную независимость, но обнаруживают определенную согласованность в рамках целого.

При переходе к новому, более высокому уровню кодирования информации, при выработке соответствующих характеристик часто начинают с простых, чисто описательных форм их задания. Соответствующие математические формы еще оказываются слабо разработанными. Такое положение наблюдается и в современных приложениях теории вероятностей к более сложным объектам, и прежде всего в биологии и социологии, где характеристики (знаки) высшего кода еще не получают строго математического выражения: они выступают в форме описания, в форме простых «словесных» понятий и высказываний. Например: различные распределения попаданий в мишень говорят об определенной меткости стрелков; распределения, выражающие рассеяние снарядов, могут характеризовать точность стрельбы; распределение выпускаемой продукции по качественным показателям — организацию производства на предприятии, выпускающем эту продукцию; распределение результатов измерения некоторой величины — степень точности принятого метода ее измерения и т. п.

Все выводы, делаемые на основе этих и подобных распределений, представляют собой информацию более высокого уровня кодирования по сравнению с информацией, доставляемой простой регистрацией случайных величин. Вместе с тем соответствующие характеристики высшего кода еще слабо включаются в системы математических зависимостей.

Хотя полнота теоретического описания некоторого объекта исследования достигается в том случае, когда используются понятия всех выделенных уровней его внутреннего строения, в практических исследованиях центральное место принадлежит понятиям высшего кода, и зачастую их уровнем и ограничиваются. Правомерность и плодотворность последнего обусловлены тем, что именно знание высшего кода характеризует наиболее существенные свойства объектов исследования. В случае вероятностных представлений знаки высшего кода вполне однозначно характеризуют тип (вид) распределения, а в квантовой механике — вид волновой функции. Тем самым открываются возможности непо-

средственной, прямой характеристики распределений, на основе чего можно определять особенности, специфику того или иного конкретного распределения в целом, сравнивать различные распределения.

Речь идет о возможностях определения распределений и их закономерностей (изменение во времени и связь с другими однопорядковыми распределениями) независимо от наблюдения и обработки исходного массового материала, без непосредственного анализа самих случайных (в смысле теории вероятностей) событий. Тем самым открываются пути к анализу причин устойчивости частот вероятностных событий, о чем говорилось в предыдущей главе: эта устойчивость связана с природой характеристик высшего кода.

Сказанное здесь об уровнях кодирования информации в структуре теорий, опирающихся на исчисление вероятностей, позволяет, на наш взгляд, наметить пути к раскрытию роли и значения теории вероятностей в современной науке. Именно тот факт, что методы теории вероятностей дают строгие теоретические средства анализа и выражения закономерностей объектов исследования с двумя относительно выделенными и автономными уровнями внутреннего строения и организации, и объясняет прежде всего секрет успеха идеи вероятности в познании реального мира. Аппарат теории вероятностей позволяет объединить в единое целое понятия, весьма различные по своей природе, уровню абстрактности и обобщения, и тем самым отобразить в рамках единой теории взаимопроникновение жесткого и аморфно-пластичного начал структуры материальных систем, начал соподчинения и координации, автономности элементов и гармонии целого.

2. Синтез вероятностных систем (классическая физика)

В системно-структурных исследованиях центральное место занимает, пожалуй, проблема синтеза элементов в целостную систему. Решение этой проблемы основывается на исследованиях структуры соответствующих систем и ее моделировании. В сложных системах этот синтез включает в себя признание существенной автономности (независимости) элементов.

Из содержания предыдущего параграфа следует, что синтез элементов в системе при учете их автономности предполагает наличие различных уровней внутренней организации элементов и систем. Соответственно этому и характеристики элементов и систем делятся на различные относительно независимые классы по степени их общности. Целостность системы устанавливается благодаря достаточно жестким связям на глубинном уровне, между характеристиками высшего кода.

Обычные вероятностные системы представляют собой первый, а потому простейший пример сложных систем. Здесь еще нельзя говорить о процессах целенаправленного управления и функционирования, но автономность играет уже весьма существенную роль. Синтез в таких вероятностных системах основывается на разделении их характеристик на два класса. С теоретической точки зрения таковыми будут случайные величины и параметры распределений. Однако теория вероятностей, будучи математической, дает лишь абстрактную структуру, остов этих систем. Исследования реальных вероятностных систем, разработка соответствующих естественнонаучных теорий необходимо предполагает еще и развитие собственно естественнонаучных идей и представлений. Более того, разработка таковых зачастую определяет сам выбор и развитие соответствующих разделов математики. В случае разработки вероятностных (статистических) теорий собственно физические идеи и представления «нащупали» теорию вероятностей, «симбиоз» которых привел к их развитию.

Разработка естественнонаучных теорий опирается не только на математику, но также на эксперимент и интуицию, на определенные общие представления о структурной организации мира и его познании. Опыт исследования реальных систем показывает, что, помимо деления понятий на классы по степени общности, в системных исследованиях понятия делятся также на относящиеся к характеристике системы в целом и относящиеся лишь к элементам. Соответственно этому познание систем предполагает познание свойств систем в целом, свойств элементов и способов их связи. На базе приложений теории вероятностей в физике и осуществлен подобный синтез макро- и микроподходов к исследованию сложных материальных систем.

Идея вероятности вошла в физику при разработке классической статистической физики. В статистической физике исследуются макроскопические тела, состоящие из весьма большого числа частиц, т. е. макротела как определенные материальные системы. Существенных результатов статистическая физика достигла прежде всего при изучении газов и им подобных систем. При исследованиях жидких и твердых тел статистические методы стали играть существенную роль сравнительно недавно. Газы — первые материальные системы, в познании которых выявились сила и действенность вероятностных идей и методов в естествознании.

Исторически разработке статистической теории газов предшествовали, с одной стороны, создание основ термодинамики газов, т. е. макроскопической (не зависящей от атомистических представлений) теории газов, а с другой — разработка теории механического движения простейших объектов классической механики. Развитие идей атомизма в учении о газах поставило вопрос о своеобразном синтезе макроскопических законов газа и классической механики, т. е. вопрос об исследовании свойств и закономерностей газов с учетом их внутренней дифференциации и интеграции. Для понимания существа этого синтеза основным является то, что он оказался возможным благодаря использованию в физике вероятностных методов. Вероятность, таким образом, явилась тем понятием науки, которое впервые позволило объединить на строгой математической основе два основных и независимых направления исследования соответствующих систем — направление, идущее от свойств системы в целом к свойствам элементов, с направлением, идущим от свойств элементов к общим свойствам системы.

Как уже отмечалось, в познании статистических систем центральное место принадлежит представлениям о вероятностных распределениях. На основе представлений о распределениях выражаются физические характеристики этих материальных систем и взаимозависимости между ними. Для понимания природы распределений как структурных характеристик материальных систем в статистической физике важно рассмотреть особенности их математического выражения. Для этого обратимся к работам, посвященным строгому математи-

ческому обоснованию статистической физики. Строгое математическое обоснование той или иной теории всегда строится на основе более глубокого проникновения в фундаментальные идеи этой теории, и только на этом пути можно надеяться на более интересные результаты при философском осмыслении соответствующих теорий.

Исследованию математических оснований статистических теорий физики посвящены работы А. Я. Хинчина⁵. Не вдаваясь в подробное их рассмотрение, отметим, что в своих исследованиях А. Я. Хинчин одно из центральных мест отводит так называемой структурной функции системы. Эта функция в общем виде зависит от двоякого рода величин. Прежде всего она определяется внутренней природой рассматриваемых частиц (элементов), и в зависимости от этой природы мы получаем либо классическую статистику Максвелла — Больцмана, либо симметрическую статистику Бозе — Эйнштейна, либо антисимметрическую статистику Ферми — Дирака. Кроме того, структурная функция зависит также (в общем случае) от энергии, числа частиц и объема системы. Последние являются характеристиками системы в целом и в конечном счете определяются макроскопически. Только учет величин этих двух видов позволяет в дальнейшем приступить к выводу основных распределений, характеризующих те или иные статистические системы.

Следует отметить, что особый интерес в статистических теориях представляет получение так называемых асимптотических формул, т. е. распределений систем в предположении, что число частиц системы, ее полная энергия и занимаемый ею объем стремятся к бесконечности. Это возможно при наличии некоторых постоянных отношений между энергией, числом частиц и объемом системы, например при сохранении отношений полной энергии и числа частиц к объему. Эти отношения также нельзя определить без привлечения макрохарактеристик системы.

Если обратиться к рассмотрению непосредственных выражений распределений в статистической физике, то также легко заметить, что распределения включают в

⁵ См.: А. Я. Хинчин. Математические основания статистической механики. М.—Л., 1943; *его же*. Математические основания квантовой статистики. М.—Л., 1951.

себя как величины, относящиеся к индивидуальным объектам, так и величины, характеризующие некоторые основные стороны всей системы в целом.

Системы объектов, изучение которых послужило началом разработки статистической механики, обладают одной весьма существенной особенностью: взаимодействия между объектами, обеспечивающие их связь в систему, сравнительно ничтожны, так что ими можно пренебречь. Отсюда говорят, что в статистической физике изучают системы невзаимодействующих (несвязанных, «свободных») частиц, что приводит к известному методологическому парадоксу⁶. Статистическая механика основывает свой метод на предположении, что частицы системы непрерывно взаимодействуют, в результате чего между ними происходит обмен энергиями. Вместе с тем в большинстве расчетов статистической механики пренебрегают энергетическим обменом между частицами, т. е. рассматривают их энергию как постоянную. Такое пренебрежение основывается на том, что взаимодействия между частицами малы в сравнении с кинетической энергией частиц и потенциалами внешних полей. Общность же в поведении частиц системы характеризуется через ее макропараметры и внешние условия ее существования.

Следует напомнить, что в современном развитии теории вероятностей и статистической физики все более исследуются определенные виды зависимостей. В методах самой теории вероятностей переход к исследованию зависимостей привел к представлениям об условных вероятностях, цепях Маркова и ряду других. В физике такой переход к учету зависимостей связан с интенсивным развитием теории систем многих частиц, и в частности — с выработкой представлений о квазичастицах.

Тот факт, что статистические методы исходят из изучения систем невзаимодействующих частиц, по существу и обуславливает (обосновывает) применение вероятностных методов к исследованию этих систем. В момент возникновения теории вероятностей и фактически при ее построении и в настоящее время исходят из схемы рядов независимых последовательных испытаний. Неза-

⁶ См., например: А. Я. Хинчин. Математические основания статистической механики, стр. 36.

висимость испытаний и есть не что иное, как взаимодействие частиц. В этих схемах роль макропараметров играют условия, при которых происходит формирование серий испытаний и которые необходимо входят в традиционные определения вероятности.

Итак, вероятностное исследование статистических систем в физике строится на основе синтеза макро- и микроподходов (и соответствующих характеристик) к их познанию, когда исследования системы в целом и независимые исследования свойств ее составляющих необходимо дополняют и видоизменяют друг друга. Основная цель таких структурных исследований состоит в том, чтобы раскрыть, как влияет изменение характеристик системы в целом на характеристики ее составляющих, и обратно, при учете того, что для этих систем характерно наличие двух относительно независимых уровней кодирования информации.

Такая постановка вопроса указывает, что взаимоотношения между макро- и микропараметрами рассматриваемых систем весьма богаты и сложны и не могут уместиться в узкие рамки простой дедукции, выведения одного из другого. В сложных системах структурные переходы от элементов к системе (и обратно) обладают самостоятельной ценностью и требуют независимого исследования.

В истории развития классической статистической физики предпринимались многочисленные попытки обосновать ее при помощи классической механики, т. е. попытки вывести всю совокупность опытных фактов статистической физики, исходя из одной только классической механики, и дать критерии применимости таких выводов к исследованию определенных систем. Другими словами, попытки обоснования классической статистической физики представляют собой попытки теоретического определения всех характеристик статистических систем на основе знания свойств и закономерностей поведения только элементов, причем — и это существенно — предполагается, что все необходимые знания об элементах могут быть получены вне и независимо от их вхождения в эти системы.

Рассматриваемые попытки обоснования классической статистической физики находят свое оправдание в том, что те представления о свойствах и законах поведе-

ния элементов, из которых исходили при ее разработке, строились исключительно на данных механики Ньютона и не выходили за ее границы. Задача дополнительного и независимого (самостоятельного) исследования свойств систем в целом и их учета при анализе свойств элементов в этих случаях не ставилась.

Следует вообще отметить, что в понимании любых новых закономерностей, любой новой теории большое значение имеет та философская модель мира, те общие представления о структурной организации материи и процессе познания, которые сопоставляются и сопровождают становление нового научного направления. Исторически становление статистических, вероятностных методов в физике происходило под определяющим воздействием чисто механических идей. В первых статистических исследованиях, отмечал А. Я. Хинчин, «довольно расплывчатые и как бы робкие вероятностные рассуждения... еще не претендуют на роль основной базы, фигурируя наряду и приблизительно на равном положении с чисто механическими рассмотрениями. Для этого первичного периода характерными являются две черты: во-первых, здесь делаются еще довольно далеко идущие предположения относительно строения и законов взаимодействия частиц; обычно их представляют себе в виде упругих шаров, законы соударения которых существенным образом используются для построения теории; во-вторых, понятия теории вероятностей являются здесь лишенными отчетливости, обременены тяжелыми смешениями и благодаря этому очень часто дискредитируют математические рассуждения, либо лишая их всякого содержания, либо прямо делая их неверными... Математический уровень всех этих исследований чрезвычайно низок, и важнейшие задачи, которые ставит математике эта новая область применений, еще не видны сколько-нибудь отчетливо»⁷.

Лишь по мере становления статистических закономерностей в естествознании все более осознавалась их собственная основа и складывались новые представления о системах, свойства которых уже не сводились к простой сумме свойств их составляющих и которые не

⁷ А. Я. Хинчин. Математические основания статистической механики, стр. 8.

связывались жестким образом с конкретной природой исследуемых объектов. В настоящее время можно достаточно определенно сказать, что все попытки механического обоснования классической статистической физики потерпели неудачу. Поскольку в классической статистической физике основные закономерности формулируются на языке вероятностных распределений, постольку задача ее обоснования сводится к тому, чтобы получить, исходя из данных классической механики, вероятностные распределения и законы их взаимосвязи. Но это-то и оказалось невозможным. Систематическому и в известной мере обобщающему рассмотрению эти вопросы подверглись в работах Н. С. Крылова, который в своих исследованиях пришел к таким выводам: «В теории, основанной на классической механике, принципиально не может возникнуть представление о вероятностных законах распределения, с необходимостью сопровождающих осуществление данного макроскопического состояния, т. е. принципиально не может возникнуть представление о статистическом и, в частности, термодинамическом законе.

Какой бы простой закон распределения микросостояний внутри заданной области мы ни предположили, в классической теории отношение этого закона к результатам будущих испытаний остается совершенно неопределенным. Классическая теория не может дать никаких гарантий того или иного закона распределения микросостояний в последующих испытаниях. Теория, основанная на классической механике, не только не может объяснить предпочтительность одного из таких законов перед другими, но и вообще не может объяснить факта существования какого бы то ни было вероятностного закона, т. е. не дает нам возможности понять самого факта существования законов статистики и термодинамики. В то же время мы констатируем эти законы на опыте, констатируем существование вероятностных законов распределения результатов наших опытов. Следовательно, источник этих законов — их объяснение — надо искать в иных, отличных от классической механики, принципах описания природы»⁸.

⁸ Н. С. Крылов. Работы по обоснованию статистической физики. М.—Л., 1950, стр. 67.

Эта основная идея в работе Н. С. Крылова неоднократно повторяется. При этом он особо отмечает, что выводу о том, что «классическая механика не может быть основой для построения статистической физики», «должен быть придан не тот смысл, что классическая механика не может дать нам всего необходимого для обоснования статистики и должна быть дополнена элементами вероятностных представлений. Такое заключение было бы совершенно очевидным... и в настоящее время является общепризнанным... Сделанный вывод означает значительно большее: при любом логически допустимом соединении вероятностных представлений и классической механики не может быть достигнута цель обоснования физической статистики; иначе говоря, классическая механика не может служить той микромеханикой, на основе которой может быть построена статистическая физика»⁹.

С этими выводами перекликаются многие утверждения, встречаемые в работах по статистической физике. К таким относится, например, высказывание Л. Ландау и Е. Лифшица: «В настоящее время неясно, может ли сформулированный таким образом (в своей общей формулировке.— Ю. С.) закон возрастания энтропии вообще быть выведен на основе классической механики»¹⁰.

При рассмотрении проблемы обоснования статистической физики необходимо иметь в виду, что общий характер статистических закономерностей не зависит от конкретной природы частиц, составляющих исследуемые системы. «Специфика систем, изучаемых статистической механикой,— пишет А. Я. Хинчин,— состоит главным образом в том огромном числе степеней свободы, которыми располагают эти системы. Методологически это означает, что позиция статистической механики определяется не механической природой, а атомистическим строением материи; дело обстоит почти так, что статистическая механика ставит своей целью проследить, как далеко идут выводы, которые могут быть сделаны из представления об атомистическом строении

⁹ Н. С. Крылов. Работы по обоснованию статистической физики. М.—Л., 1950, стр. 92.

¹⁰ Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. М., 1964, стр. 48.

материи, какова бы ни была природа этих атомов и каковы бы ни были законы их взаимодействия...»¹¹.

Значительность любой новой научной теории и состоит прежде всего в разработке новых общих понятий, диалектически отрицающих ту конкретную проблематику, из которой выросла сама новая теория. Раскрытие содержания общего происходит не только путем его сопоставления с частным, но и с другим общим.

Вопросы обоснования статистической физики касаются теоретического объяснения самого факта существования распределений в статистических системах (прежде всего в газах), законов энтропии, вопросов релаксации, эргодичности, перемешивания, флуктуаций и др. Можно сказать, что не по всем этим вопросам дано позитивное и конкретное решение — здесь наиболее развиты критические соображения. Вместе с тем сказанное позволяет утверждать, что статистические системы не являются вполне аддитивными: при вхождении в системы объекты (элементы) в чем-то меняют свои существенные характеристики, в чем-то становятся иными, и тем самым аддитивность нарушается. Познание существенных характеристик объекта в составе статистических систем или вне и независимо от них различно, что связано с тем, что в игру вступают характеристики, относящиеся ко второму уровню кодирования информации.

3. Синтез вероятностных систем (квантовая теория)

Рассмотренные особенности вероятностных распределений как структурных характеристик находят интересное выражение в квантовой теории. Последняя как теория микропроцессов является принципиально вероятностной, т. е. включает в себя идею вероятности. Вместе с тем весьма примечательно то, что в квантовой физике произошел сдвиг интересов в самой постановке основной вероятностной задачи: вероятностные методы используются прежде всего для познания свойств и закономерностей индивидуальных квантовых частиц. В свете сделанных

¹¹ А. Я. Хинчин. Математические основания статистической механики, стр. 12—13.

выше замечаний о распределениях можно понять данную особенность вероятностных методов в квантовой теории: распределения (их виды) в значительной мере определяются внутренними свойствами соответствующих частиц, и, следовательно, на основе распределений можно изучать свойства отдельных частиц.

В квантовой физике, как уже отмечалось, состояния микрочастиц характеризуются на языке волновых функций: квадрат модуля волновой функции в некотором представлении определяет вероятность соответствующей физической величины. Использование волновых функций для характеристики состояний физических объектов дало возможность теоретически вскрыть и отобразить в соответствующих уравнениях такие внутренние свойства микрочастиц, как корпускулярно-волновой дуализм, спин и четность. Именно эти свойства частиц наиболее глубоко характеризуют их строение и представляют собой второй, более высокий уровень кодирования информации в системах.

Зависимость волновых функций от характеристик, свойств индивидуальных микрообъектов очевидна; чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на соответствующие уравнения движения. Вместе с тем мы видели, что распределения как структурные характеристики вероятностных (статистических) систем включают в себя и параметры, характеризующие системы в целом или общность поведения составляющих ее объектов. (Эти параметры можно назвать интегральными, или целостными, параметрами систем; иногда их называют глобальными.) Следовательно, естественно предположить, что волновые функции как характеристики состояний микрочастиц включают в себя зависимость от соответствующих интегральных параметров. Однако если мы будем искать эти параметры среди физических величин, входящих в уравнения движения микрочастиц и в аналитические выражения соответствующих волновых функций, то не найдем такой величины, которую можно было бы интерпретировать как исключительно интегральную характеристику соответствующей системы (совокупности) микрообъектов, которая выражала бы общность поведения ее элементов.

Чтобы разобраться в данном вопросе, необходимо рассмотреть два других: о значении так называемых

естественных граничных условий, накладываемых на волновые функции, и о значении условий образования статистических коллективов в квантовой физике.

К естественным граничным условиям, накладываемым на волновые функции, относятся их нормируемость (интегрируемость квадрата модуля волновой функции в случае, если энергетические уровни системы дискретны), конечность, однозначность и непрерывность во всем пространстве. Выполнение этих граничных условий необходимо для аппарата квантовой теории — они представляют одно из исходных положений во всех случаях математического развития теории. И методологически весьма существен и важен вопрос: в чем смысл указанных требований, накладываемых на волновые функции? В этой связи представляет значительный интерес высказывание Л. И. Мандельштама: «Первый толчок всему современному развитию той теории, которую мы теперь называем волновой механикой, был дан Планком. Основным положением Планка, так резко идущим в разрез с принципами классики, было положение о дискретности возможных уровней энергии осциллятора. Блестящее развитие планковских идей привело Бора к его представлению об атоме, опять наиболее замечательной чертой которого было утверждение о дискретности энергетических состояний атома...

И мне кажется, что не будет ошибкой сказать, что как де Бройль, так и Шредингер искали в первую очередь математический аппарат, т. е. искали такое построение математической стороны теории, которому было бы присуще выделение дискретных значений...

И в поисках этого аппарата, несомненно, решающую роль сыграло то обстоятельство, что в классической физике такой аппарат существовал. Это так называемые задачи о собственных значениях, т. е. по существу волновые уравнения с граничными условиями. Ими решались задачи о собственных (дискретных) колебаниях струн и т. д....

Для краевых задач типично выделение целых чисел, обеспечивающих существование решения. То, что сделал Шредингер, что он угадал, замечательно вот в каком отношении. В струне дискретные числа выделены не столько уравнением, сколько граничными условиями. А где взять эти граничные условия для атома, за что там

зацепиться? И вот Шредингер обратил внимание (математики знали это давно), что существуют такие дифференциальные уравнения, которым для появления дискретности достаточно *естественных* условий, таких, например, как интегрируемость квадрата модуля решения и конечность его в особых точках уравнения. Именно таким путем Шредингер пришел к своему уравнению...»¹²

Как приведенные соображения исторического порядка, так и рассмотрение по существу говорят о том, что граничные условия в квантовой физике суть характеристики систем в целом. Граничные условия накладываются на все вероятностное распределение, почему и являются его интегральными характеристиками. Вместе с тем граничные условия представляют весьма общий класс указанных характеристик. При конкретном рассмотрении квантовых задач встает вопрос о дополнительных интегральных характеристиках квантовых систем, и они обычно формулируются в терминах условий опыта или отношения состояний микрообъекта к макроусловиям, в частности к прибору.

В этой связи представляют интерес следующие высказывания Л. И. Мандельштама: «Волновая механика — статистическая теория. Но говорить о статистике и вероятности можно, только имея определенную совокупность элементов, к которой эта статистика относится. В волновой механике такой совокупностью является совокупность повторных опытов (каждый индивидуальный опыт есть ее элемент), причем повторение должно происходить при одних и тех же условиях...

Мы подошли к тому, что я считаю наиболее существенным и важным. А именно, волновая механика утверждает, что для *определения микромеханического коллектива, к которому относится ψ -функция, достаточно указать (фиксировать) макроскопические параметры*»¹³.

Существует, конечно, различное понимание, различные трактовки вероятностного характера волновой функции. Однако, несмотря на это, можно вполне определенно сказать, что признание зависимости этой характеристики состояний микрообъекта от макроусловий (от условий,

¹² Л. И. Мандельштам. Лекции по основам квантовой механики. Полн. собр. трудов, т. V. М., 1950, стр. 352—353.

¹³ Там же, стр. 355—356.

задаваемых классическим образом) является существенной чертой трактовки квантовой теории. Эта зависимость и означает, что задание волновых функций микрочастиц включает в себя их целостные, интегральные характеристики, которые выражаются через макропараметры. На фундаментальное значение этих вопросов постоянно обращает внимание В. А. Фок, когда говорит о невозможности отвлекаться при изучении атомных объектов от средств наблюдения (измерительных приборов)¹⁴.

Сказанное, как и в случае классической статистической физики, самым непосредственным образом связано с определением вероятности; ее определение, исходящее из схемы рядов независимых испытаний, всегда включает в себя указание на условия, в которых вероятность обнаруживается. Эти условия представляют собой характеристики соответствующих совокупностей (рядов) испытаний в целом, и в квантовой физике они определяются через задание макрохарактеристик, относящихся к некоторым коллективам.

4. Объект как элемент статистических систем

Переход к исследованию объектов в составе систем как их элементов означает более глубокое проникновение в сущность самих объектов, нежели отчужденное их познание (см. II, 3). Рассмотрим, какое развитие получает это положение на уровне вероятностных идей, методов и теорий.

Идея вероятности вошла в физику, как известно, при разработке классической статистической механики, прежде всего молекулярно-кинетической теории газов. При рассмотрении этой теории в первую очередь обращают внимание на те результаты, которые были получены при исследовании свойств и закономерностей достаточно больших объемов (или масс) газов, т. е. на макроскопические интегральные характеристики газов как определенных материальных систем. Меньше внимания обычно уделяется анализу развития в этой теории представлений о самих атомах как элементарных объектах, из

¹⁴ См., например: В. А. Фок. Об интерпретации квантовой механики.— «Философские проблемы современного естествознания» (Труды Всесоюзного совещания по философским вопросам естествознания). М., 1959, стр. 229.

которых классическая физика слагала мир. А между тем и в этом отношении в классической статистической физике были достигнуты значительные результаты.

Классическая статистическая механика исходила из представлений об отдельных объектах, выработанных в классической механике. Последняя рассматривала эти объекты как материальные (геометрические) точки. Другими словами, классическая механика совершенно не интересовалась внутренней структурой исходных объектов. В статистической физике такой взгляд оказался недостаточным: он был дополнен представлениями о наличии у элементарных объектов внутренних сил (классическая механика знает только внешние силы), выявлением изотропного, симметричного (шаровая симметрия) характера действия этих сил (отсутствие у объекта выделенных направлений взаимодействий, обусловленных его внутренним строением) и введением представлений об эффективных сечениях. Легко видеть, что эти изменения идут по линии проникновения во внутреннее строение отдельных объектов (от чего отвлекалась классическая механика).

Теоретически новые характеристики объектов даются на основе теоретико-вероятностных методов исследования. Эти методы привели к разработке специальной теории — теории рассеяния частиц. Изучая рассеяние частиц веществом, Э. Резерфорд в 1911 г. пришел к ядерной модели атома. Изучение рассеяния электронов больших энергий на нуклонах позволило исследовать электромагнитную структуру нуклонов. Развитие этих идей привело к разработке так называемой теории S -матрицы, как одного из важнейших методов (полуэкспериментального характера) исследования в современной теоретической физике.

Мы видим, что развитие статистических методов исследования материальных систем в целом предполагает и развитие методов исследования отдельных объектов как элементов этих систем. В квантовой теории, благодаря высокому уровню теоретических методов, сразу приступили к изучению микрообъектов через призму вероятностных систем, что обеспечило ее успехи в познании внутренних свойств микрочастиц. При изучении новых областей действительности нет никакой необходимости начинать все сначала, т. е. строить методы их познания не-

зависимо от достигнутого уровня общетеоретических представлений (например, познавать соответствующие объекты сначала отчужденным способом, а потом в составе все более сложных систем). Коль скоро выработаны методы системных исследований и они получили достаточное обобщение, т. е. стали независимы от конкретной природы породивших их объектов исследования, то вполне допустимо их прямое применение к анализу новых областей действительности. В случае успеха результаты их приложений автоматически будут соответствовать тому уровню развития науки, который характеризуется разработкой этих методов. Именно поэтому не имеет смысла возлагать большие надежды на исследования элементарных частиц отчужденным образом, коль скоро их познание началось на путях вероятностных (статистических) методов как определенного класса системных исследований.

Переход к изучению объектов как элементов систем существенно меняет и способы характеристики их состояний. В случае отчужденных объектов их состояния характеризуются через простое перечисление свойств объекта, через задание значений всей совокупности этих свойств. При этом, поскольку между свойствами существуют определенные зависимости, для задания состояний объектов достаточно задать значения лишь независимых параметров. В классической механике, например, в качестве таких независимых параметров выступают импульс и координаты.

В случае систем состояния их объектов (элементов) определяются посредством структурных характеристик соответствующих систем. Именно в этом прежде всего и заключены смысл и значение использования волновых функций для характеристики состояний и взаимодействий микрообъектов. Через раскрытие тех структур, в образовании которых участвуют отдельные объекты, лежат пути их познания, а следовательно, и выработка характеристик их состояния. Последнее особенно наглядно было вскрыто при использовании вероятностных методов в познании закономерностей природы.

К рассмотрению характеристик объектов как элементов систем можно подойти и несколько с иной стороны. Выше отмечалось, что сложные системы характеризуются параметрами, относящимися к различным уровням

кодирования информации. При этом неправомерно связывать параметры низшего уровня лишь с отображением свойств элементов, а знаки высшего кода — лишь со свойствами систем в целом. К различным уровням принадлежат и параметры, непосредственно относящиеся к отдельным объектам. Естественно, что при характеристике этих объектов и вообще при их теоретическом определении в естествознании основное значение придается параметрам более высокого уровня кодирования информации, как выражающим более глубокую сущность данных объектов. Это означает, что при характеристике и определении элементарных частиц решающее значение отводится так называемым новым квантовым числам. Эти характеристики, в зависимости от своих численных значений, вполне строго, однозначно определяют каждый из видов элементарных частиц, и на основе этих характеристик прежде всего и производится идентификация частиц при опытных исследованиях. (Следует, конечно, отметить, что для характеристики элементарных частиц имеют также важнейшее значение и такие параметры, как, например, масса, которые рассматриваются просто как привносимые в теоретические схемы опытные константы.)

Поскольку параметры (знаки) высшего кода лишь интегральным образом соотносятся с параметрами низшего кода, то, кладя первые в основу определения объекта, мы не связываем жестко это определение с некоторыми значениями параметров низшего кода; напротив, это определение содержит в себе указание на все возможные проявления значений параметров низшего кода. Поскольку полнота информации об объекте достигается тогда, когда используются знаки всех кодов, выделенных в теории данного объекта, то определение объекта на основе высшего кода лишь обобщенно включает знаки низшего кода. Именно поэтому с развитием квантовой теории в физике все более и более используются представления о потенциальных возможностях при определении самих квантовых объектов. Если же при наличии характеристик объекта, принадлежащих к различным уровням, стремиться определить его, оставаясь на уровне низшего кода, и придавать этому решающее значение, то возникают громадные трудности, настолько существенные, что их часто связывают с решением самой проблемы реальности как наиболее широкой философской

проблемы. «В экспериментах с атомными процессами,— пишет В. Гейзенберг,— мы имеем дело с вещами и фактами, которые столь же реальны, сколь реальны любые явления повседневной жизни. Но атомы или элементарные частицы реальны не в такой степени. Они образуют скорее мир тенденций или возможностей, чем мир вещей и фактов»¹⁵.

Характеристики, относящиеся к различным уровням кодирования информации, имеют существенные отличия в логическом отношении. Низший код отображает действительность на уровне явлений, внешних проявлений, кажимости, видимости. Тем самым использование языка низшего кода необходимо для отображения действительности в ее живой реальности. Высшие коды отображают действительность со стороны ее сущности различных порядков. Язык высших кодов более абстрактен, более емок, и, оставаясь на уровне языка этих кодов, мы отображаем внутреннюю конструкцию действительности, ее скелет. Однако нельзя признать правомерным утверждение позитивистской философии, что знаки высшего кода не несут онтологическую нагрузку, не обладают реальным бытием, а что таковым обладают лишь знаки низшего кода. Конечно, сам по себе скелет не представляет еще живого организма, но ведь и живой организм немислим без внутренней упорядоченности и организованности. Подобно этому онтологическую нагрузку несут знаки всех кодов, которые используются для отображения определенного фрагмента материи, и именно из этого необходимо исходить при определении материальной природы объектов, чтобы не оказаться в мире призрачных теней.

Для определения элементарных частиц решающее значение, повторим, имеют их внутренние свойства, обычно выражаемые в форме квантовых чисел. Пример квантовой теории показывает, что именно такие внутренние свойства (и прежде всего спин и четность) определяют вид волновых функций и тем самым характеризуют все потенциальные возможности поведения соответствующих квантовых объектов. Следует при этом отметить, что подобный подход к определению объектов характерен и для классического естествознания, и вообще для науки.

¹⁵ В. Гейзенберг. Физика и философия. М., 1963, стр. 158.

Определяя макрообъект на основе классической механики (через массу, импульс, координаты, энергию и др.), мы отвлекаемся от таких его конкретных характеристик, как химический состав и строение, тем самым это определение охватывает все возможности химического строения. Характеризуя некоторого человека как исключительно принципиального, мы тем самым утверждаем, что во всех возможных критических ситуациях он будет вести себя в соответствии с «требованиями» истины и закона, не считаясь с собственным благополучием. То новое, что возникло в подходе к определению объектов в результате развития вероятностных методов исследования, можно попытаться выразить так: если раньше при определении объекта мы отвлекались от потенциальных возможностей его реальных проявлений, то ныне поле возможностей стало необходимо включаться в это определение, причем для такого включения необходимо некоторым образом упорядочить эти возможности, чему и служат собственно вероятностные методы.

Итак, рассмотрение объектов как элементов систем ведет к необходимости их определения через структурные характеристики соответствующих систем и включает в это определение поля возможностей.

5. Задание распределений

Природа вероятностных распределений обуславливает способы их опытного задания. Поскольку распределения являются характеристикой случайных величин, они задаются прежде всего путем непосредственной обработки массового опытного материала. При этом во многих практических случаях нет необходимости или целесообразности «перебирать» все элементы рассматриваемых совокупностей либо в силу чрезвычайно большого их числа, либо в силу того, что при наличии некоторого числа «перебранных» элементов учет новых не внесет существенных изменений в общие результаты в рамках предъявляемых к ним требований. Для этих случаев разработан специальный выборочный метод исследования общих свойств статистических систем (совокупностей каких-либо объектов или свойств) на основе изучения лишь части соответствующих элементов, взятых на выборку. Чтобы выборочное распределение достаточно

надежно характеризовало исследуемую систему, оно должно удовлетворять специальным условиям — репрезентативности. Выборочный метод служит основой, например, статистических методов контроля качества продукции. Он часто применяется для проверки правильности работы физических приборов.

Несмотря на всю важность обработки массового материала при опытном задании исходных вероятностных распределений, в естествознании в наиболее существенных случаях использования вероятностных методов эти исходные распределения задаются иначе, что довольно подробно рассмотрено в работах по общим вопросам теории вероятностей¹⁶. Практически только при первом проникновении вероятностных методов исследования в какую-либо новую область явлений природы часто начинают с эмпирической обработки массового опытного материала и на основе этого задают исходные распределения. Но и в этом случае встречаются громадные трудности. Так, чтобы эмпирически строго задать распределение случайной величины и, следовательно, обнаружить постоянство частот с точностью до некоторого весьма малого значения ε , необходимы серии примерно по $n = \frac{1}{\varepsilon^2}$ испытаний. Если предположить, что в некотором конкретном случае необходимо статистически определить вероятность с точностью до 0,0001, то для этого требуется произвести ряд серий измерений примерно по 100 000 000 измерений в каждой. Ясно, что при таком опытном задании исходных распределений весьма трудно продвигаться вперед по пути использования статистических методов исследования.

При исследовании процессов природы вероятностные распределения гораздо чаще вводятся гипотетически, косвенно. Вероятностная гипотеза в статистических теориях обычно вводится на основании соображений симметрии, допущения о равновозможности определенных исходов исследуемого процесса, соображений о практической независимости отдельных рядов событий и т. д. Проверяется вероятностная гипотеза обычно также кос-

¹⁶ См., например: А. Н. Колмогоров. Теория вероятностей.— В сб.: «Математика, ее содержание, методы и значение», т. II. М., 1956.

венным образом — на основании совпадения полученных из теории основных выводов о свойствах физических систем с опытными данными.

В физике уже в учении о газах предположение о существовании вероятностных распределений было введено как гипотеза, на основе допущений о «молекулярном беспорядке». Совпадение вычисленных на основе статистических методов значений ряда физических макрохарактеристик (давление, энергия и т. п.) с опытными явилось подтверждением справедливости вероятностной гипотезы в данном случае.

В квантовой теории вероятностные распределения получаются путем задания волновых функций. Волновые функции квантовых систем в общем случае даются как решения соответствующих уравнений движения — волновых уравнений. Для задания волнового уравнения некоторой квантовой системы необходимо задать ее энергию (гамильтониан). На основе совпадения вычисленных характеристик квантовых систем с опытными делают заключение о справедливости вероятностной гипотезы и в квантовом случае.

Возможность указанного способа задания (не путем задания массового, статистически обрабатываемого опытного материала) вероятностных распределений и проверки их справедливости обусловлена характером и природой самих распределений: если распределения можно охарактеризовать параметрами, достаточно однозначно определяющими их вид, то обратно — на основе знания этих параметров можно определить и сами распределения, и прежде всего соответствующие вероятностно-случайные величины.

VI

К дискуссиям относительно статуса вероятностной неоднозначности

Со времени вхождения вероятностных идей и методов в естествознание возникли острые философские дискуссии по вопросам их обоснования. При этом в подавляющем большинстве случаев в центре дискуссий стоит вопрос о смысле (статусе, основаниях) той неоднозначности (или неопределенности), которая вводится в строгую науку самой математикой в виде теории вероятностей. Рассматривая отдельное случайное событие, теория вероятностей позволяет определить лишь вероятность его наступления, т. е. позволяет определить его принципиально неоднозначным образом. При рассмотрении движения некоторого отдельного объекта теория вероятностей позволяет определить лишь вероятность того или иного его поведения в определенных условиях, а не само «фактическое» его поведение.

Другими словами, как мы уже видели, теория вероятностей не отображает единственным, строго однозначным образом поведения объектов в составе вероятностных систем. Констатация этого факта порождает массу проблем. Вправе ли мы вводить в науку подобную неоднозначность, ведущую к неопределенным предсказаниям? Вправе ли мы класть в фундамент ведущих теорий современного естествознания такую модель массового явления, где отдельные элементарные события (элементы, объекты) не только не обуславливают причинно одно другое, но и вообще ни в чем не зависят друг от друга?

Выше мы положительно ответили на эти вопросы и стремились дать этому определенное обоснование: тео-

рия вероятностей исследует такие множества событий, синтез которых в нечто единое предполагает вскрытие у событий общей глубинной основы и наличие существенной независимости (автономности) их в рамках целого (множества). Тем самым анализ природы вероятности оказывается тесно связанным с исследованием природы сложных систем, их определяющих черт. Такой подход к вероятности есть подход к ней с точки зрения современности, с точки зрения современных представлений о логической структуре научных теорий и структурной организации материи. Вместе с тем исследования природы вероятности и оснований ее приложений в естествознании имеют весьма богатую драматизмом историю, рассмотрение которой также необходимо для раскрытия современного положения дел.

В физике становление вероятностей шло на путях атомизма и означало его дальнейшее развитие. Развитие идей атомизма шло под флагом материалистической философии и борьбы против идеалистических концепций о природе бытия. В период становления вероятности в физике известна мужественная борьба Л. Больцмана за разработку наиболее широкого обоснования вероятности в этой науке. Быстрое развитие прямых доказательств реальности атомов означало бескомпромиссную победу материалистических концепций «в первом туре» дискуссий в физике о природе вероятности.

В дальнейшем дискуссии вокруг вероятности особо остро велись по проблемам диалектики. Долгое время осмысление вероятности шло под сильным влиянием идей и схемы жесткой детерминации. Вероятность вводила в науку существенную неоднозначность, и сравнение ее с концепцией жесткой детерминации в этих условиях говорило не в пользу первой: вероятностным представлениям не хватало «изящества» однозначных предсказаний любых рассматриваемых связей. Так возникли представления о неполноте статистических теорий, об их временном характере.

Выявить собственные основания вероятностей и статистических закономерностей оказалось возможным лишь на основе диалектической методологии. В этой связи важнейшую роль сыграл их анализ на базе категорий необходимости и случайности, а затем с развитием квантовой механики стали дополнительно привлекаться кате-

гории потенциально возможного и действительного. Этот процесс осмысления — особенно по мере усиления позиций самой диалектики в понимании необходимости и случайности, возможности и действительности — дал весьма существенные результаты: он способствовал выявлению более широких основ вероятностных методов и статистических закономерностей, и прежде всего отрыву в понимании этих основ от узких рамок представлений, которые навевала схема жесткой детерминации, в частности классическая механика. Однако в поисках более широких основ далеко не всегда удавалось достаточно оторваться от механической почвы, и тогда так или иначе приходили к признанию первичности однозначных (жестких) связей и закономерностей и вторичности вероятностных.

На наш взгляд, упомянутых философских категорий недостаточно для сравнительно полного раскрытия природы вероятностных методов. Использование отдельных категорий диалектики, как бы это ни было значительно само по себе, недостаточно для глубокого обоснования принципиально новых идей и методов естествознания. Такое обоснование возможно лишь в системе категориального аппарата материалистической диалектики, что можно сделать при помощи определенной философской модели мира и познания, т. е. на основе их соотношения с современными представлениями о принципах структурной организации материи (атомизм) и теорией познания. За это говорит не только логика рассматриваемой проблемы, но и анализ дискуссий о статусе вероятностной неоднозначности.

1. Неоднозначность в свете необходимости и случайности

Положение, что вероятностные методы неоднозначно отображают поведение отдельного элемента в составе статистической совокупности, с самого начала опиралось на философские представления о необходимости и случайности. Естественно, что трактовка вероятностной неоднозначности в данном случае существенно зависит от того, как мы понимаем сами категории необходимости и случайности и как оцениваем их роль и значение в структуре бытия и познания.

Необходимость и случайность суть философские категории, категории диалектики, которые отражают прежде всего то, что материальные связи далеко не равноценны для внутреннего бытия материальных систем и объектов и для их внешних взаимодействий. Необходимой обычно считается связь, которая при данных условиях обязательно имеется и является устойчивой; напротив, случайной будет такая связь, которая при этих же условиях неустойчива, изменяется, в обязательном порядке варьируется. Необходимость преимущественно связывается с внутренней сущностью объектов и систем, случайность — с их внешними чертами.

Изменения в необходимых связях ведут к изменениям природы соответствующих объектов и систем; изменения в случайных связях свидетельствуют о богатстве проявлений их внутреннего содержания. Используя рассмотренные выше представления об уровнях кодирования информации (кодах-качествах), можно сказать, что в рамках некоторой единой теории необходимыми являются те связи, которые выражают зависимости между понятиями, относящиеся к более высоким уровням кодирования информации, а случайными — зависимости, относящиеся к наиболее низким уровням. В конкретных исследованиях необходимость и случайность всегда включают в себя черты относительности; анализ диалектики их взаимопереходов наиболее сложен.

При трактовке вероятностной неоднозначности представления о случайности связывались сначала преимущественно с характеристикой свойств и поведения отдельных элементов, а представления о необходимости — с наличием определенных упорядоченностей (выражаемых посредством распределений) элементов в составе статистического целого. Необходимые связи в системе выражаются математически однозначным образом, случайные — неоднозначным. Каждый элемент ведет себя случайным образом, а в массе они дают необходимость. Необходимость пробивает себе дорогу через массу случайностей. Вероятностные методы и выросшие на их базе статистические закономерности получили первое обоснование, и в то же время их «престиж» находился в полной зависимости от трактовки самих этих основ. Если допустить, что в формулировку законов должна включаться лишь необходимость, а случайность должна быть эли-

минирована в конечном счете из формулировок самих законов, то естественно прийти к признанию определенной неполноценности вероятностных методов и статистических закономерностей. Эти методы и закономерности в данном случае рассматриваются как грубое приближение к истине, и дальнейшая задача науки в исследовании соответствующих материальных систем представляется как задача исключения случайности из формулировки самих законов. Подобная точка зрения в качестве определяющего эталона берет классическую механику и ее законы: истинные законы науки должны включать в себя лишь необходимые связи, а любой вид неоднозначности как проявление случайности должен изгоняться из самих формулировок этих законов. Логическим завершением этой философской позиции в теории явился печально известный лозунг «наука — враг случайностей».

В рассматриваемой трактовке вероятностных представлений наибольшая трудность заключалась в раскрытии природы случайности, в выработке наиболее широкого ее понимания. Довольно часто при анализе случайности приходили в конечном счете к отрицанию ее объективного характера. Тем самым отрицалась собственная значимость этой категории, т. е. наличие у нее такого содержания, которое несводимо к другим категориям.

Обычно случайность абсолютно противопоставлялась необходимости, признание одной исключало другую. Далее, поскольку признавали справедливость и универсальность классического детерминизма, приходили к утверждению, что случайность есть следствие нашего незнания, по крайней мере частичного. Против такого взгляда на обоснование вероятности и статистических закономерностей решительно выступали те философы-материалисты и естествоиспытатели, которые так или иначе сознавали диалектическую природу взаимоотношений категорий необходимости и случайности. Так, например, М. Смолуховский писал в 1927 г.: «Поскольку дело касается применения в теоретической физике, все теории вероятностей, которые рассматривают случайность как непознанную частичную причину, должны быть заранее признаны неудовлетворительными. Физическая вероятность события может зависеть только от условий, влияющих на его появление, но не

от степени нашего знания»¹. В своей статье М. Смолуховский развивает понимание случайности как объективной категории. Существенной чертой такого понимания является не противопоставление случайности необходимости, а признание неприменимости их диалектического синтеза. Это и отражают введенные Смолуховским представления об «упорядоченной» случайности.

Признание за вероятностными методами и статистическими закономерностями самостоятельной значимости и ценности по существу означает, что общие представления о природе закономерностей следует обосновывать весьма широко, включая и необходимость, и случайность. Нечто — любые материальные объекты, системы и процессы — характеризуется одновременно и необходимостью, и случайностью, которые взаимодополняют и взаимообуславливают друг друга. Последнее особенно важно при рассмотрении основ науки. Необходимость выражает абстрактно-общее в объекте исследования, основу его устойчивости, его скелет; случайность нацеливает на теоретическое воспроизведение объекта в его «плоти и крови», во всех его «живых» красках. «Голой» необходимости нет; «раздеть» природу и обладать одной только необходимостью можно лишь в простейших случаях, да и то практически — в наших мыслях. Как сказал один современный поэт,

«Слава случаю. Разве не случай
С непреложным — всегда наравне...
Случай правит покоем и бегом,
Порождает и радость и боль.
Призадуматься стоит стратегам,
На войне какова его роль.
Он — надежда и он же — угроза,
И не трудно понять, почему
Вся поэзия, драма и проза
У него на подножном корму».

К сказанному можно подойти и несколько иначе. В наших исследованиях материальной действительности, ее наиболее глубинных оснований мы всегда имели и,

¹ М. Смолуховский. О понятии случайности и о происхождении законов вероятностей в физике.— «УФН», 1927, т. 7, вып. 5, стр. 332.

по-видимому, будем иметь дело с некоторым ее «срезом». Такое утверждение охватывается представлениями о неисчерпаемости материи. Исследуя такой «срез», наука вырабатывает его понимание и обоснование. События, явления и процессы, характеризующие определенный «срез» материальной действительности, могут иметь, конечно, и более глубокие основания, т. е. они могут быть внешними или сопутствующими проявлениями некоторых более глубоких структурных «срезов» материи. Однако наиболее широкий философский анализ того или иного «среза» должен дать истолкование соответствующим событиям и процессам, исходя из реального уровня проникновения науки во внутреннюю структуру материальной действительности.

Конечно, философский анализ определенным образом раскрывает перспективы, тенденции дальнейшего развития познания, но именно это и означает, что философские соображения основываются не на существенном незнании, а на реальных завоеваниях науки. Другими словами, наиболее широкий философский взгляд на природу бытия и познания в самих своих принципиальных основах содержит и необходимость, и случайность как самостоятельно значимые и не сводимые одна к другой категории.

Итак, вероятностные методы и статистические закономерности «обязаны» категориям необходимости и случайности в их диалектической трактовке. Использование этих категорий в раскрытии природы вероятностных методов и статистических закономерностей способствовало отрыву последних от тех общих представлений о фундаменте науки, которые сложились под влиянием классической механики и ее приложений. Эти методы и закономерности обрели собственный фундамент, достаточно широкий и способный к относительно независимому развитию. В самом деле, разработка категорий необходимости и случайности опирается на гораздо более широкий материал по сравнению с тем, который используется непосредственно в приложениях теории вероятностей. Тем самым эти категории могут развиваться независимо от развития приложений теории вероятностей, благодаря чему открываются новые возможности в совершенствовании обоснования вероятностных методов. По-видимому, философия вообще, давая широкое обос-

нование различным научным методам и теориям, тем самым отображает наличие и возможность глубинных связей и взаимодействий между ними.

Первоначальное обоснование вероятностных методов и статистических закономерностей, повторим, связывало представления о необходимости только с массовостью, а представления о случайности — только с единичностью. Поведение элементов рассматривалось как чисто случайное, а поведение совокупности — лишь как необходимое. Однако в единичном, отдельном, индивидуальном дано общее, а общее выступает в каждом отдельном. Если единичное лишь случайно, то как возникает необходимость в их массе? И напротив, если масса лишь необходима, то как ей удастся начисто расправиться со случайностью? По-видимому, ближе к истине утверждение, что и единичное (элемент), и совокупное (система) характеризуются определенными необходимостями и случайностями с весьма сложными переходами. Характеристики и поведение элементов в составе статистического целого не только случайны. Событию в теории вероятностей жестким образом сопоставляется определенная вероятность, ее значение. Эту жесткость сопоставления нельзя объяснить лишь на базе представлений о случайности.

Обсуждение этого вопроса приняло весьма серьезный характер в связи с развитием квантовой механики. В отличие от классической физики вероятностные методы в квантовой механике стали использоваться для исследования не столько свойств совокупностей, сколько свойств и закономерностей поведения отдельных элементов — микрочастиц. Спрашивается, если вероятностные методы обосновываются представлениями о необходимости и случайности, то как это обоснование выглядит при этом? Ведь в данном случае категория необходимости (как и случайности) заведомо будет относиться к отдельному объекту, а не к их массе?

2. Вероятностная неоднозначность в свете категорий возможности и действительности

Существенным для понимания природы квантовой теории, как уже отмечалось, является то, что вероятностные методы используются здесь для выражения

свойств и закономерностей поведения отдельных микрообъектов. В этой связи все в большей степени стали применяться категории возможности и действительности. Различные вероятности поведения микрообъекта стали рассматриваться как внутренне ему присущие потенциальные возможности поведения, но в каждом конкретном случае из этих возможностей реализуется лишь одна.

Поскольку квантовая теория отображает поведение микрообъектов на вероятностном языке, то на базе этого появились утверждения, что она есть наука о потенциальных возможностях в микромире. «Я полагаю,— пишет В. Гейзенберг,— что язык, употребляемый физиками, когда они говорят об атомных процессах, вызывает в их мышлении такие же представления, что и понятие «потенция». Так физики постепенно действительно привыкают рассматривать траектории электронов и подобные понятия не как реальность, а скорее как разновидность «потенций». Язык, по крайней мере в определенной степени, уже приспособился к действительному положению вещей. ...Этот язык вызывает в нашем мышлении образы, а одновременно с ними и чувство, что эти образы обладают недостаточно отчетливой связью с реальностью, что они отображают только тенденции развития реальности»².

Данный взгляд на трактовку квантовой теории непосредственно связывается с определением самого понятия вероятности. «Вероятность того или иного поведения объекта в данных внешних условиях,— пишет В. А. Фок,— определяется внутренними свойствами данного индивидуального объекта и этими внешними условиями; это есть численная оценка потенциальных возможностей того или иного поведения объекта. Проявляется же эта вероятность в относительном числе осуществившихся случаев данного поведения объекта; это число и является ее мерой. Таким образом, вероятность относится к отдельному объекту и характеризует его потенциальные возможности...»³

Выше мы уже видели, что представления о потенциальных возможностях существенным образом входят

² В. Гейзенберг. Физика и философия. М., 1963, стр. 153.

³ В. А. Фок. Об интерпретации квантовой механики.— В кн.: «Философские проблемы современного естествознания». М., 1959, стр. 227.

в характеристику квантовых объектов. Это связано с тем, что характеристики квантовых объектов распадаются на два относительно независимых уровня и что в основу определения объекта кладутся характеристики, относящиеся к более высокому уровню кодирования информации. Последнее также означает, что не все характеристики объекта в рамках квантовой механики могут относиться к рангу потенциально возможных; к таковым относятся характеристики низшего уровня (так называемые наблюдаемые), в то время как характеристики высшего уровня (квантовые числа) описывают квантовый объект вполне определенно.

Другими словами, при рассмотрении спектра возможностей поведения микрообъектов квантовая механика позволяет отображать наличие определенных упорядоченностей, регулярностей в массе этих возможностей, и на этом факте по существу основываются ее главные утверждения. Однако сказать, что квантовая механика основана на анализе законов в мире возможностей, еще не значит выразить всю истину. Сами закономерности в спектре возможностей обусловлены более глубинными свойствами микрообъектов, и они прежде всего составляют предмет рассмотрения квантовой механики. Язык, непосредственно описывающий сами возможности, выражает первый уровень кодирования свойств микрообъектов; понятия же, выражающие наличие упорядоченностей во множестве возможностей, относятся уже к более высокому уровню кодирования свойств этих микрообъектов.

Использование категорий потенциально возможного при обосновании вероятностных методов означает прежде всего недостаточность этого обоснования при помощи одних только категорий необходимости и случайности и уже тем самым говорит о необходимости обоснования этих методов при помощи более широкой системы философских категорий. Раскрытие природы вероятности стало в значительной мере связываться с глубиной нашего понимания категорий потенциально возможного и действительного: чем более обобщенными будут наши представления об этих категориях, тем более глубокими могут быть и наши представления о вероятности.

В настоящее время общепризнано, что возможности того или иного поведения некоторых материальных

объектов обусловлены прежде всего их внутренним строением, их внутренней структурой. При этом внутренняя структура определяет всегда массу возможностей, и чем более глубокие свойства определяются, тем шире соответствующее поле возможностей. Реализация той или иной возможности обуславливается внутренним состоянием соответствующего объекта и условиями его внешнего бытия; переход от возможности к действительности в общем случае содержит определенные черты иррациональности, в известной мере подобно переходу между двумя точками на числовой оси.

Особенно наглядно это проявляется при рассмотрении процесса развития. Недостаточно сказать, что в каждой данной действительности заключены все возможности, а развитие действительности есть простое развертывание возможностей. В ходе развития действительности происходит не только выбор определенной возможности из множества заданных, но и возникают существенно новые возможности, а следовательно, не все возможности определены ранее действительностью. Новое всегда в чем-то не определено. Каждая из возможностей имеет внутреннее основание в самой материальной действительности, но содержащиеся в некотором объекте или системе потенциальные возможности еще не предопределяют с неизбежностью их действительное развитие. Реальная жизнь всегда вносит коррективы, иначе следует признать абсолютную предопределенность настоящего прошлым с неизбежным сползанием в фатализм.

3. Вероятностная неоднозначность и познание сущности

Истолкование, объяснение вероятностной неоднозначности, да и вероятности вообще, на основе категорий необходимости и случайности, потенциально возможного и действительного сыграло и продолжает играть безусловно существенную роль. Вероятность и та неоднозначность, которую она вводит в науку, стали рассматривать не как некие временные и искусственные конструкции, а как имеющие принципиальное значение для анализа природы знания и самого бытия. Однако, как это вытекает из всего изложенного, названных категорий недостаточно для наиболее полного обоснования вероятности: такое

обоснование может быть проведено лишь на базе системы философских категорий, а построение любой такой системы в свою очередь возможно, на наш взгляд, лишь с помощью определенных представлений о структурной организации материи и природе познания, т. е. философской модели мира вообще. Недаром Н. Винер в своих работах, посвященных обоснованию вероятностных методов и кибернетики вообще, уделяет центральное место рассмотрению вопросов устройства нашего мира в целом и места человека в нем.

То, что вероятностные методы наиболее полно обосновываются лишь в системе философских категорий, формально доказывается уже просто тем, что вероятность можно обосновывать не только на базе категорий необходимости и случайности, возможности и действительности, но и многих других категорий, например явления и сущности⁴. Последние характеризуют объект исследования прежде всего под углом зрения движения познания, его углубления от явления к сущности, от сущности 1-го порядка к сущности 2-го порядка и далее. При таком подходе к обоснованию вероятности на первый план выступают представления об уровнях кодирования информации в сложных системах.

Сущность обнаруживает себя в явлениях, причем весьма по-разному. Другими словами, одна и та же сущность представлена обширным полем явлений и выступает прежде всего в наличии упорядоченности в этом поле, подобно тому как черты характера человека (например: принципиальность, честность, доброта и т. п.) в различных житейских ситуациях проявляются весьма различно и выражают наличие устойчивого распределения во множестве ситуаций.

Если признать, что познание идет от явлений к сущности, то познать сущность можно лишь через рассмотрение массы явлений, через раскрытие в ней опреде-

⁴ В работах В. С. Готта с сотрудниками в последние годы подчеркивается принципиальное значение категорий определенности и неопределенности для решения современных проблем детерминизма и, в частности, для анализа основ вероятностных представлений в науке; см., например: В. С. Готт, А. Ф. Перетулин. О некоторых философских предпосылках определения физического смысла волновой функции.— В кн. «Философские вопросы квантовой физики». М., 1970, стр. 109 и сл.

ленных регулярностей и упорядоченностей. При этом, поскольку явления определяются сущностью, то и связи между ними определяются через сущность, т. е. в общем случае между самими явлениями может и не быть непосредственных, прямых зависимостей — они могут быть независимыми и, следовательно, ни в чем не определять друг друга. Свойства некоторого химического элемента не определяется свойствами других элементов, в том числе и соседних по таблице Менделеева, а обусловлены составом и структурой ядер соответствующих атомов. Мое сегодняшнее поведение в своей основе определяется не тем, как я вел себя вчера, а, скорее, тем, что называется моим характером.

В общем случае взаимозависимость между явлениями и сущностью как раз выражается на языке представлений об уровнях кодирования информации и взаимосвязях между ними в сложных системах. Собственные характеристики явлений, посредством которых одно явление отличается от другого, образуют первый, низший уровень кодирования информации. Чтобы перейти от него к более высокому, необходимо выявить некоторую упорядоченность в знаках первого уровня, причем упорядоченность, обусловленную чем-то более глубоким, а не самими непосредственными связями между этими явлениями.

Более высокий уровень кодирования информации и будет прежде всего характеризовать эту упорядоченность, структуру в системе знаков низшего кода. Знаки высшего кода выражают соответствующую сущность. В том случае, когда при исследовании некоторых процессов выделяется всего два уровня кодирования информации, причем низший приобретает относительную автономность (знаки низшего уровня независимы друг от друга), законы взаимосвязей между уровнями, способы характеристики сущности выражаются на языке теории вероятностей.

В связи с представлениями об уровнях кодирования информации в структурной организации материи получают некоторое новое освещение и сами философские категории, используемые для обоснования вероятности. Частично это уже отмечалось. Рассмотрим, например, категорию необходимости. Если при отображении некоторого материального процесса используются знаки (понятия), относящиеся к различным уровням кодирова-

ния, то, естественно, необходимыми будут связи, относящиеся к более глубокому уровню кодирования, т. е. те, которые существуют между знаками высшего кода. Эти связи будут носить весьма жесткий характер. Другими словами, необходимость предполагает однозначность, но при учете многопорядковости сущности переносит ее действие на более глубокие уровни. Категория случайности будет прежде всего выражать отношения непосредственно между знаками низшего кода. Знаки низшего кода не определяют, не обуславливают один другой: они соотносятся друг с другом через сущность, т. е. через и на основе знаков высшего кода.

Иначе говоря, представления о строгой необходимости используются для характеристики глубинных, внутрисущностных отношений самих по себе, а представления о чистой случайности — для характеристики отношений между явлениями самими по себе и на уровне явлений. Однако сущность и явления — это не различные видения, предстающие перед нами по отдельности. В реальной практической деятельности нам даны одновременно сущности и явления, материальные объекты, системы и процессы со своими явлениями и сущностями в их единстве.

Вопрос о статусе сущности и явления в истории философии играл весьма важную роль, особенно при рассмотрении, выделении исходных элементов бытия и познания. «Философы более мелкие спорят о том, — отмечал В. И. Ленин, — сущность или непосредственно данное взять за основу (Кант, Юм, все махисты). Гегель вместо *или* ставит *и* объясняя конкретное содержание этого „и“»⁵.

Поскольку признается, что при характеристике конкретных объектов исследования используются знаки, относящиеся ко всем уровням кодирования информации, то вопрос о характере и способах выражения взаимосвязей между различными уровнями приобретает особый интерес. Знаки высших кодов, как мы видели, лишь интегральным, обобщенным образом определяют знаки низших. Характер же самого этого обобщения может быть весьма различным, и в общем случае здесь никакого единого рецепта нет.

⁵ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 120.

Важно подчеркнуть, что однозначного дедуктивного пути от знаков высших кодов к знакам низших (как и обратно) в общем случае не существует. Сказанное поясним на примере, который уже приводился нами. Рассмотрим ряд понятий: яблоко — плод — органическое тело — материальный объект. Эти понятия соответствуют различным уровням кодирования информации в направлении повышения их общности. Поставим вопрос: каким образом происходит переход от понятия, соответствующего более высокому уровню кодирования информации, к понятию, соответствующему более низкому уровню, например от понятия плода к понятию яблока?

Уже сама постановка вопроса указывает на отсутствие простого дедуктивного пути. Переход совершается путем установления связей этих понятий со многими другими характеристиками, а не путем выведения одного понятия из другого. Подобно этому, связь между знаками высших и низших кодов включает в себя необходимое и случайное в своеобразном сочетании, исключающем их дедуктивную выводимость.

Итак, категории явления и сущности позволяют пролить дополнительный свет на природу вероятности. Одновременно этот анализ показывает, что наиболее полно смысл вероятности можно раскрыть лишь в системе философских категорий, в свою очередь опирающейся на современную философскую модель мира и познания. В данной работе предпринята попытка такого подхода к обоснованию вероятности, и именно такой подход позволяет, на наш взгляд, в наибольшей степени освободиться от давления схемы жесткой детерминации при рассмотрении природы вероятности.

4. Элементарная причинность.

Абстрактная возможность

Итак, развитие современных взглядов на природу бытия и познания свидетельствует о том, что неопределенность и неоднозначность входят в фундамент мироздания. И эта ситуация получает свое достаточно удовлетворительное объяснение на базе идеи об относительно автономных уровнях кодирования информации и детерминации. Вместе с тем тезису о принципиальном характере вероятностной неоднозначности исторически был

противопоставлен, да и сейчас противостоит, тезис о скрытых параметрах. Учитывая, что обсуждение этого противоречия шло весьма остро, попробуем его рассмотреть, основываясь на упомянутой идее об уровнях кодирования информации.

Выше уже отмечалось, что в теории вероятностей отвлекаются от знания некоторых причин исследуемых процессов — тех причин, которые строго определяют появление (при испытании) того или иного конкретного значения случайной величины из спектра ее возможных значений. Благодаря такому отвлечению и возможен переход к распределениям как основным понятиям теории вероятностей. Инвариантность распределений по отношению к причинам индивидуальных исходов испытаний закрепляется в требованиях иррегулярности, взаимной независимости исходов в сериях испытаний и ряда других. Конкретные причины индивидуальных исходов могут быть известны или неизвестны. При этом в большинстве случаев, и в первую очередь в наиболее современных теориях, о конкретных причинах индивидуальных исходов испытаний вообще ничего нельзя сказать — в настоящее время они науке неизвестны, и их знание не представляется существенным.

При осмыслении статистических закономерностей в науке был поставлен вопрос: есть ли смысл в том, чтобы говорить о причинной обусловленности появления определенного значения случайной величины в рамках возможных, и если есть, то какой. Поскольку теория вероятностей абстрагируется от указанных причин, обсуждение этого вопроса выходит за рамки самой теории вероятностей и обычно ведется в общефилософском плане.

С точки зрения тех философских направлений, которые признают причинность и детерминизм, положительный ответ на поставленный вопрос не вызывает сомнений. Поскольку имеется фиксируемое в опыте различие в отдельных исходах, оно материально обусловлено, т. е. существуют лежащие в самой материальной действительности причины. Такое утверждение представляет собой аксиому соответствующих философских направлений. Однако поскольку исследование конкретных причин в индивидуальных исходах испытаний, их познание выходит за рамки теории вероятностей, то, следователь-

но, эти причины играют подчиненную, несущественную роль в тех задачах, которые исследуются теоретико-вероятностными методами.

Тот факт, что основные интересы современной теории вероятностей не требуют учета конкретных причин появления того или иного значения случайной величины из спектра возможных, по-своему был истолкован теми философскими направлениями, которые отрицают причинность и детерминизм в самих своих основах. Это касается главным образом позитивистской философии. Ее представители абсолютизировали отказ от учета указанных причин в статистических теориях, а поскольку на этом отказе строится сама постановка статистических задач и об этих причинах в большинстве случаев ничего конкретно нельзя сказать, то делались выводы, что статистические теории основаны на принципиальном индетерминизме и знаменуют нарушение принципа причинности.

Такая абсолютизация отказа от рассмотрения некоторых причин в конкретных научных теориях представляет собой лишь форму выражения одной из аксиом позитивистской философии. Как сказал П. Ланжевен, «те, кто старается изобразить эволюцию нашего познания детерминизма как банкротство причинности, напрасно ссылаются на новейшие достижения современной науки. Их идеи взяты совсем не оттуда; они извлечены из старой философии, враждебной научному познанию; ее-то они и хотят снова протащить в науку»⁶.

То, что статистические теории строятся на основе отвлечения от причин, обуславливающих индивидуальные исходы испытаний в рамках возможных (причин в элементарном), отнюдь не означает, что в этих теориях вообще отказываются от рассмотрения и учета причин. Дело обстоит совсем наоборот: статистические теории строятся на основе раскрытия основных, коренных причин исследуемых материальных систем, связанных с анализом природы и видов распределений. «Причинность,— как отметил Н. Винер,— есть нечто, могущее присутствовать в большей или меньшей степени, а не только просто быть или не быть»⁷. Ключом к решению

⁶ П. Ланжевен. Избранные произведения. М., 1949, стр. 398.

⁷ Норберт Винер. Я — математик. М., 1964, стр. 309.

рассматриваемой проблемы, на наш взгляд, является идея об относительно независимых (автономных) уровнях детерминации, включающей в себя и учение о причинности.

В мире причинных связей также существуют своего рода иерархия и специализация — они различаются по сфере и глубине своих воздействий и даже распадаются на относительно независимые (автономные) подклассы. Если при исследовании некоторого сложного процесса не руководствоваться идеей об уровнях и принцип причинности связывать в равной мере с необходимыми и случайными его сторонами, то мы либо поставим на пути познания непреодолимую преграду, либо вообще заведем познание в тупик. В этой связи вспоминается известное высказывание Ф. Энгельса о том, что бессмысленно настаивать на абсолютно исчерпывающем познании всех причинно-обуславливающих связей, относящихся лишь к одному стручку гороха. «Такая наука, — писал Ф. Энгельс, — которая взялась бы проследить случай с этим отдельным стручком в его каузальном сцеплении со все более отдаленными причинами, была бы уже не наукой, а простой игрой; ибо этот самый стручок имеет еще бесчисленные другие индивидуальные свойства, являющиеся случайными: оттенок цвета, толщину и твердость оболочки, величину горошин, не говоря уже об индивидуальных особенностях, доступных только микроскопу. Таким образом, с одним этим стручком нам пришлось бы проследить уже больше каузальных связей, чем сколько их могли бы изучить все ботаники на свете»⁸.

В свете сказанного очевидно, что рассматриваемый вопрос о причинности в элементарном в статистических теориях имеет две стороны: во-первых, признание абстрактной возможности этих причин, т. е. решение вопроса с точки зрения некоторых философских принципов, и, во-вторых, утверждение об относительной ценности знания таких причин, т. е. о том, какое приращение наших знаний может дать реальное обнаружение таких причин.

Необходимо помнить, что в спорах и дискуссиях слабая сторона всегда стремится увести противника от об-

⁸ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 534.

суждения основных вопросов на второстепенные и частные, по которым обычно не хватает фактических знаний, но зато открывается большой простор для спекуляций. Поэтому со стороны тех философских кругов, которые уводят в сторону, зачастую можно встретить утверждения, которые в применении к примеру со стручком гороха выглядят примерно так: если вы полагаете, что в природе существует причинность, то укажите конкретные причины и механизм их действия, которые обуславливают тот факт, что в данном стручке горошины отличаются величиной, оттенком цвета, толщиной и твердостью оболочки и многими другими индивидуальными особенностями; если же вы этого не можете сделать, то вы не вправе говорить о всеобщей причинности и порочности индетерминистических концепций. Вопрос ставится ребром: либо причинность, либо ее отрицание. Идея об уровнях в учении о причинности и диалектический характер взаимосвязей между уровнями отвергаются с порога.

Исторически обстоятельства сложились так, что в философских дискуссиях основное внимание первоначально уделялось решению вопроса о причинной обусловленности элементарных событий с точки зрения абстрактной возможности. При этом позиции спорящих сторон с самого начала определялись их общей философской направленностью. В центре дискуссий и борьбы была ситуация, сложившаяся в квантовой механике. Если в классической физике допускалось, что поведение и свойства отдельных объектов могут быть описаны как на вероятностном, так и на невероятностном языке, то современная физика для отображения свойств и закономерностей поведения микрообъектов знает лишь один язык — язык теории вероятностей.

Развитие, детализация борьбы привела к представлениям о скрытых параметрах, согласно которым каждое случайное событие в квантовой области достаточно строго и однозначно обусловлено некоторыми материальными факторами в самих микропроцессах. Однако в рамках квантовой теории от этих причин абстрагируются, и современной физике они вообще неизвестны (отсюда и название — скрытые параметры). Были приняты многочисленные попытки найти эти параметры, получить их математическое выражение, дать на такой

основе трактовку квантовой теории в целом и т. д. Многие из этих попыток носили явно механический характер, строились по образу и подобию схемы жесткой детерминации и даже классической механики и уже в силу этого оказывались несостоятельными. В целом все предпринятое до настоящего времени попытки по расшифровке кода скрытых параметров не принесли ощутимых результатов.

В своей основе вопрос о скрытых параметрах есть вопрос физический. Его суть и сама его постановка находятся в компетенции физики. Вместе с тем обсуждение этого вопроса имеет и определенные философские аспекты.

Следует прежде всего подчеркнуть, что исследование причинной обусловленности поведения микрочастиц, разработка гипотезы скрытых параметров не могут быть самоцелью. Они становятся таковыми, если за образец истинного выражения знаний берутся схемы классической физики и, следовательно, если во имя истины стремятся исключить всякую неопределенность и неоднозначность во внутренней структуре научных теорий.

Однако, как мы видели, такая постановка вопроса весьма ограничена. Отсюда с неизбежностью встает вопрос, в чем же ценность подобных исследований, в чем они могут обеспечить приращение наших знаний?

Обычно предполагается, что эти исследования направлены на развитие квантовой теории, лежат на магистральном пути проникновения физики в глубинную сущность элементарных частиц. Но это-то и требует доказательств. Выбор, оправдание того или иного пути обусловлены прежде всего характером задач, которые способна ставить и решать в настоящее время физика микропроцессов. Без анализа таких реальных задач и методов, используемых для их решения, любые рассуждения на тему о скрытых параметрах будут носить чисто умозрительный, неоправданный характер. Между тем такой анализ практически не проводится, а потому вопрос о ценности соответствующих исследований остается открытым. Более того, в свете всего сказанного в данной работе нуждается в весьма серьезном методологическом обосновании сама постановка задачи о причинности в элементарном, частном случае которой является гипотеза о скрытых параметрах.

Выше мы видели, что для современной науки характерно развитие системных исследований, согласно которым познание более глубокой сущности некоторых объектов есть познание их как элементов некоторого класса систем. Более глубокое раскрытие сущности систем в целом есть и более глубокое познание сущности элементов, и обратно. В этом познании систем и объектов ведущее значение приобретают представления о структуре. В случае вероятностных систем такими структурными характеристиками являются, как мы видели, вероятностные распределения: на основе распределений характеризуются и соответствующие системы в целом, и их элементы. И именно благодаря представлениям о распределениях вероятностные методы позволяют выделить новый, более высокий уровень кодирования информации в соответствующих объектах исследования. Между тем постановка задачи о скрытых параметрах не учитывает этой важнейшей роли вероятностных распределений в отображении закономерностей природы. Даже если допустить, что задача о скрытых параметрах получит позитивное решение, то в чем она обогатит наши представления о распределениях? Ее решение будет означать, что и в квантовом случае каждое вероятностное событие имеет свои вполне конкретные индивидуальные причины. Знание таких причин позволит, возможно, более глубоко разобраться в условиях образования распределений, но не внесет ничего нового в наши представления о самом характере распределений и способы их выражения, а тем самым не добавит ничего нового в ту информацию, которая относится к более высокому уровню кодирования и которая, следовательно, выражает более глубокую сущность исследуемого объекта.

Другими словами, в настоящее время задача о скрытых параметрах ставится таким образом, что соответствующие объекты исследования рассматриваются отчужденно, т. е. вне и независимо от их вхождения в какие-либо системы. И в этом состоит, на наш взгляд, слабость всей постановки задачи. Лишь если удастся связать постановку задачи о скрытых параметрах с определенными системными представлениями, и прежде всего с идеей об относительно независимых (автономных) уровнях кодирования информации и детерминации,

можно будет говорить о корректной постановке задачи в методологическом плане.

Далее, мы видели, что понятия, выражающие более глубокую сущность объектов исследования (относящиеся к более высоким уровням кодирования информации), носят обобщенный характер. Они представляют своего рода интегрирование по значениям параметров, выражающих более низкие уровни кодирования информации. Другими словами, проникновение в более глубокую сущность объектов связано с выработкой все более абстрактных понятий, которые характеризуют не столько сами исходные события, сколько наличие определенной структуры, определенной упорядоченности во множествах исходных событий. Абстрактно-обобщенным понятиям, грубо говоря, «нет дела» до всех характеристик, определяющих детальное внешнее проявление каждого исходного элементарного события: значения последних могут довольно широко варьировать, не изменяя значений первых. Концепция же скрытых параметров по сути дела не учитывает того, что проникновение в более глубокую сущность вещей связано с выработкой абстрактно-обобщенных понятий, с объединением в единую систему понятий различной степени общности. Она фактически основывается на предположении, что между всеми понятиями в рамках любых теоретических систем должны существовать лишь строгие взаимно однозначные соответствия. Такая позиция требует весьма серьезного методологического обоснования, которого практически нет, а в рамках рассматриваемых в данной работе представлений об уровнях кодирования информации она вообще не может быть признана состоятельной в своей традиционной форме; во всяком случае пока не видны пути подхода к решению этой проблемы. Природа общего отнюдь не такова, что из него можно логически дедуцировать все детальные характеристики единичного: связи между понятиями различной степени общности более сложны.

Представления о скрытых параметрах фактически основываются на допущении, что состояние микрообъекта в любой момент можно представить в некотором застывшем виде, т. е. статически. Подобная характеристика во многом напоминает механическую модель классической физики. Однако гораздо более широкий взгляд

открывает динамическая картина, в которой внутреннее состояние микрообъекта представляется как некоторый интенсивно происходящий процесс. В таком случае статические характеристики объекта имеют весьма ограниченное значение. Именно с этим связано использование категорий определенности и неопределенности при характеристике состояний микрообъекта, о чем упоминалось выше.

Постановка вопроса о скрытых параметрах должна учитывать прежде всего идею об уровнях в свойствах и детерминации материальных процессов. Необходимо также дать достаточно ясный предварительный ответ на вопрос: какова природа общего и почему познание все более глубинных свойств материальных объектов и систем связано с выработкой абстрактно-обобщенных понятий. Нужно также проанализировать понятие состояния физической системы и те изменения, которые оно претерпевает в современной физике. Наконец, следует дать вполне определенный отчет о ценности представлений о скрытых параметрах, о том, какое приращение будет получено на этом пути.

При учете всех этих обстоятельств постановка вопроса о скрытых параметрах имеет некоторые основания. Косвенным подтверждением этого может служить тот факт, что дискуссии по вопросу о скрытых параметрах не утихают также среди физиков нового поколения, воспитывавшихся в период всеобщего признания и господства квантовых идей⁹. Весьма любопытно, что Норберт Винер, наиболее активно пропагандировавший в связи с развитием кибернетики необходимость вероятностной точки зрения на устройство мира, также недвусмысленно высказал свою определенную поддержку представлениям о скрытых параметрах¹⁰.

⁹ О дискуссии по вопросу о скрытых параметрах см. «Reviews of Modern Physics», 1968, vol. 40, № 1, pp. 228—236.

¹⁰ Обобщающее рассмотрение этих взглядов см. в кн.: *N. Wiener, A. Siegel, B. Rankin, W. Martin. Differential Space, quantum Systems and prediction. Massachusetts — London, 1966.*

VII

Пути дальнейшего анализа

Все предшествующее изложение представляет собой именно введение в мир вероятностных идей, для достаточного методологического овладения которым нужны еще весьма значительные дополнительные усилия специального и общего характера. Были рассмотрены лишь исходные основания теории вероятностей и ее приложений, что имеет как свои сильные, так и слабые стороны. Для пояснения обратимся к следующей аналогии. Жизнь раскрывает свою сущность, проявляет все богатство организации в своих высших формах. Лишь познав эти формы, мы наиболее полно раскроем природу живого. Тем не менее специфические черты, отличающие живые системы от неживых и делающие удивительно своеобразными структурную организацию и поведение живых систем, уже характерны и для низших организмов. Высшее объясняет низшее, но исторически познание проникает в сущность жизни именно через овладение простейшими ее формами.

Проведенный методологический анализ природы вероятности, хотя и достаточно ограничен, тем не менее вполне определенно, на наш взгляд, отражает тот новый дух мышления, который вносят в науку вероятностные методы и представления. Решающее значение в этом анализе отводится основаниям приложений теории вероятностей, т. е. не внутрилогическим проблемам самим по себе, а основам и характеру функционирования теории вероятностей в системе естественнонаучного знания. Вместе с тем развитие и даже простое расширение области приложений теории вероятностей не остается бес-

следным и для самого существа вероятностных представлений: в ходе практического овладения новыми областями действительности развиваются также наши представления о природе вероятности. Последнее предполагает совершенствование самих логических оснований и форм выражения вероятностных идей. Высшие формы построения вероятностных концепций, конечно, наиболее ярко и глубоко раскрывают сущность вероятностного образа мышления, но пути их разработки лежат через создание низших форм. Поэтому, для того чтобы выработалось сравнительно цельное понимание современного этапа в развитии представлений о вероятностном мире, необходимо отметить и те пути, которые ведут к высшим формам построения вероятности. Этим вопросам и посвящается данная глава.

1. Об аксиоматическом построении теории вероятностей

Как уже отмечалось, современное наиболее общее математическое построение теории вероятностей есть ее аксиоматическое построение. Оно было разработано в 20-х годах нашего столетия, и именно в этой форме основы теории вероятностей получили довольно строгое математическое обоснование. Трактовка вероятности в рамках аксиоматического построения не связывается жестким образом с классическим или частотным подходами; она характеризуется более широкими основами в своем отношении к опыту. «Аксиоматическое построение основ теории вероятностей,— отмечает Б. В. Гнеденко,— отправляется от основных свойств вероятности, подмеченных на примерах классического и статистического определений. Аксиоматическое определение вероятности, таким образом, как частные случаи включает в себя и классическое, и статистическое определения и преодолевает недостаточность каждого из них. На этой базе удалось построить логически совершенное здание современной теории вероятностей и в то же время удовлетворить повышенные требования к ней современного естествознания»¹.

¹ Б. В. Гнеденко. Курс теории вероятностей. М., 1961, стр. 47.

Современное аксиоматическое построение основ теории вероятностей можно назвать теоретико-множественным обобщением ее понятий, идей и методов. Оно стало возможным благодаря высокому уровню современной математики и дается на базе теории меры (как раздела общей теории множеств) и измеримых функций. Исходным представлением в аксиоматическом построении теории вероятностей является множество (пространство) элементарных событий. Природа этих событий самой теории вероятностей не интересует, но весьма существенно, что исходное множество элементарных событий обладает определенной структурой — распадается на подмножества, характеристики которых можно соотнести со спектром возможных значений случайной величины. (Каждое подмножество соответствует событию, по традиционной теоретико-вероятностной терминологии.)

Вероятность представляет определенную, нормированную меру подмножеств этих элементарных событий. Мера — это функция подмножеств в целом, и ее можно соотнести с их «весом»: каждому подмножеству сопоставляется некоторое положительное число, и при сложении (объединении) непересекающихся (т. е. не содержащих одних и тех же точек) подмножеств эти числа складываются. Нормирование меры означает, что представляющее ее число для всего множества в целом принимается равным единице. Случайная величина является конечной числовой измеримой функцией. В дальнейшем развиваются правила оперирования вероятностями.

Разработка аксиоматического построения теории вероятностей, основанная на понятиях теории меры, может создать впечатление, будто теория вероятностей — часть теории меры или же теория меры есть обобщение или уточнение теории вероятностей. Рассматривая этот вопрос, М. Лозэ специально подчеркнул, что специфика теории вероятностей определяется особым характером задач исследования, и эта отличительная особенность связана с признанием фундаментального значения понятия распределения².

Для пояснения ситуации проводится следующая аналогия. Наличие аналитической геометрии, где геометрическим понятиям ставятся в соответствие определен-

² См.: М. Лозэ. Теория вероятностей. М., 1962, стр. 182—184.

ные представления из алгебры, не означает, что геометрию можно свести к алгебре и анализу — она обладает собственной значимостью, связанной с типом ее исследовательских задач. Аналогично, использование в теории вероятностей языка теории меры не ликвидирует специфику первой.

В методологическом плане важно отметить, что строгое математическое оформление любой теории, в том числе и математической, всегда связано с более глубоким проникновением в ее идеи и методы. Современное аксиоматическое построение теории вероятностей, как наиболее развитое, служит ключом к раскрытию содержания ее исторически более ранних форм. Вместе с тем следует признать, что при методологическом анализе природы вероятности в плане ее приложений еще слабо используются идеи аксиоматического построения теории вероятностей. Эти идеи рассматриваются преимущественно в логическом плане, под углом зрения внутрилогических проблем, но почти не анализируются в плане оснований взаимодействия теории вероятностей с развитием конкретного знания. Это находит свое выражение в том, что идеи общей теории множеств, лежащей в основе аксиоматического построения теории вероятностей, еще слабо используются в современном учении о принципах структурной организации материи.

Математика исследует наиболее абстрактные формы теоретического мышления. На ее основе происходит все возрастающий синтез знаний. Иначе говоря, любое развитое знание (а равно и формы теоретического мышления) характеризуется единством ряда аспектов: идейно-содержательного, математического и логического. Каждый из аспектов весьма существен, и анализ современного мышления без какого-либо из них будет заведомо неполон. Исследования по теории познания, анализ природы бытия и познания по существу немислимы без анализа природы и характера современных фундаментальных математических идей. Однако многие наши работы, посвященные изучению природы познания и теоретического мышления, не только не содержат такого анализа, но и не нацеливают на это.

Этим же определяется слабость нынешних системно-структурных исследований как основного направления в разработке общих представлений о принципах структур-

ной организации материи. Развитие этих исследований оставляет желать лучшего. Основные выводы здесь зачастую ограничиваются достаточно очевидными утверждениями. Слаба их связь с современным развитием фундаментальных, абстрактно-математических идей и представлений. А между тем разработку теоретических представлений о структурной организации материи нельзя серьезно проводить вне их связи с исходными предпосылками теории множеств, теории групп, теории алгоритмов, абстрактной теории автоматов и т. д. Достаточно полное изложение и анализ аксиоматического построения теорий вероятностей требует, как видим, еще весьма существенных предварительных исследований.

Однако нельзя слишком винить философию в ее невнимании к современной математике. В отношении к современной математике, оценке ее места и значения в системе теоретического мышления не в меньшей мере «повинна» и сама математика — постановка математического образования в общем учебном процессе. Позднее обучение современной математике, переход к овладению ее основными идеями после длительного засиживания на классическом этапе ее развития создают весьма значительные дополнительные трудности. Как отметил У. У. Сойер, «развитие современной математики затрудняется не тем, что трудно освоиться с новыми идеями, а тем, что трудно отказаться от старых... Новую теорию часто трудно понять потому, что человеку свойственно сохранять образ мысли, связанный со старой теорией»³.

Недостатки постановки математического образования в настоящее время свойственны и процессам научения в области теории вероятностей, чем сковывается пропаганда ее идей со всеми вытекающими отсюда следствиями.

2. От статики к динамике

Рассмотренный в данной работе круг идей и понятий теории вероятностей отображает как бы «статическую ситуацию», когда все элементарные события происходят при фиксированных и неизбежных условиях. Через предварительные исследования статического аспекта соответствующего фрагмента действительности лежит путь

³ У. У. Сойер. Прелюдия к математике. М., 1965, стр. 100.

развития практически всех теорий науки — различных математических дисциплин, механики, учения об электричестве, основных теорий в химии, биологии и других науках. В этом выражается, пожалуй, одна из существенных закономерностей развития познания. Вместе с тем динамическая картина более широко и значительно более глубоко характеризует соответствующий объект исследования. Не представляет исключения и вероятностный случай. При этом следует иметь в виду, что переход от статики к динамике вызывает острые дискуссии методологического характера. Именно в процессе осмысления этого перехода от статики к динамике в отношении простейшего механического движения еще в древности пришли к апориям Зенона, а в наше время — к дискуссиям о природе ансамблей Гиббса в физике и к дискуссиям по теории резонанса в химии.

Изучением динамики случая, т. е. таких случайных явлений, в которых случайность проявляется в форме процесса, занимается специальная отрасль теории вероятностей — теория случайных функций (иначе — теория вероятностных, случайных или стохастических процессов). Теория случайных функций — новейший раздел теории вероятностей, сложившийся в основном за последние десятилетия и весьма интенсивно развивающийся в настоящее время.

Развитие теории случайных функций стимулируется непосредственными запросами практики и связано прежде всего с задачами совершенствования физической статистики и разработкой теории автоматического управления. В физике этот раздел теории вероятностей лежит в основе теорий броуновского движения, диффузии газов, радиоактивного распада, теории каскадных процессов космических частиц и т. д. Разработка современных технических устройств, основу которых составляют системы с автоматизированным управлением, вообще невозможна вне теории случайных функций. В частности, во всех случаях, когда рассматриваются непрерывно работающие системы (системы измерения, поведения, регулирования, управления), при анализе точности их работы необходимо учитывать случайные воздействия (помехи). Характеристики как самих помех, так и вызываемых ими реакций систем представляют собой случайные функции времени.

Весьма интересные приложения теория случайных функций находит в современной химии (например, в теории макромолекул), в современной биологии (например, в генетике) и вообще во всех относительно развитых областях исследования.

Переход от статики к динамике в исследовании вероятностных зависимостей представляет столь существенное развитие теории вероятностей, что его зачастую сравнивают с переходом в математике от изучения постоянных величин к изучению переменных величин и функций. «Статический» вариант вероятностных обобщений основывается на понятии случайной величины; абстрактная модель, соответствующая этому варианту, — на выделении у объекта исследования двух уровней внутренней организации. Такое выделение уровней весьма стойко: оно не изменяется под влиянием внутренних или внешних причин. Внутренние и внешние условия бытия объекта исследования достаточно постоянны. Точнее говоря, они могут изменяться, но жестко детерминировано, допуская вполне однозначные преобразования исходных вероятностных распределений случайных величин. Более общая точка зрения, естественно, включает в рассмотрение случайные внутренние «мутации» объекта, а также случайные изменения внешних условий в соответствующих исследованиях движения.

Мы не уделили специального внимания вопросам динамики, но основное ее содержание, по нашему мнению, представляет собой введение в трактовку вероятностных процессов. Эта трактовка непосредственно связана с дальнейшим развитием общих представлений о сложных системах. Более того, именно с развитием теории случайных функций и ее приложений в технике, физике и биологии была осознана, на наш взгляд, сама идея о связи вероятности (ее трактовки) с общими представлениями о сложных системах и тем самым навсегда покинута механистическая почва в понимании существа (природы) вероятности.

3. Вероятность и информация

Теория информации представляет собой важнейшее современное обобщение вероятностных концепций. Она сразу же вызвала интенсивную разработку тех абст-

рактно-обобщенных представлений, той концептуальной структуры бытия и познания, которые сложились на базе всего предшествующего развития теории вероятностей. Соответственно этому резко расширилась область конкретных приложений вероятностных концепций.

Для понимания существа обобщений в учении о вероятности, связанных с теорией информации, необходимо рассмотреть те основные задачи, из исследования которых выросла эта теория. Она возникла в 40-х годах нашего века из решения практических задач по теории связи. Типичная, исходная задача теории связи состоит в исследовании закономерностей между следующими основными компонентами:

- классом сообщений, которые подлежат передаче;
- классом сигналов (материальных процессов), посредством которых осуществляется такая передача;
- каналами связи, по которым передаются потоки сообщений.

Установление этих закономерностей позволяет выработать наиболее эффективные способы кодирования и передачи сообщений, поставить на научную теоретическую основу саму разработку средств связи.

Решение исходной задачи в теории связи основывается на выработке строгих, имеющих математическую форму выражения характеристик потоков сообщений, сигналов и каналов связи. При этом задача с самого начала ставилась на языке теории вероятностей. Последнее вытекает уже из следующего. Передача сообщений в общем случае носит массовый характер. Системы связи обычно проектируются и предназначаются для передачи весьма значительных потоков сообщений, а не специально для передачи какого-нибудь отдельного сообщения. Отдельное сообщение, передаваемое по некоторому каналу связи, рассматривается как сообщение, выбранное из некоторого множества возможных. Жесткой закономерности в последовательности передачи сообщений нет: передача некоторого сообщения по каналу связи в определенный момент времени в общем случае не означает, что этим предопределена последующая передача вполне определенного другого сообщения. Напротив, после передачи одного сообщения в принципе может быть передано любое другое. Зависимости между отдельными сообщениями носят не прямой характер, а опосредованы

некоторыми глубинными основаниями. Все это и означает, что в теории связи при характеристике потоков (множеств) сообщений исходят из того, что эти множества имеют статистическую, вероятностную структуру. При этом в теории отвлекаются от семантических аспектов самих сообщений.

Как уже отмечалось, в теории вероятностей в качестве основной характеристики выступают распределения вероятностей. Однако, несмотря на центральную роль во всем предшествующем развитии теории вероятностей и ее приложений, этих характеристик оказалось недостаточно для целей теории информации. Здесь встала задача сравнения одних распределений с другими, сравнения одних вероятностных структур с другими. В теории связи встают такие задачи, как, например: какой вид распределений сигналов (какая структура их источника) соответствует наиболее эффективной передаче заданного класса сообщений. Предпосылкой решения этих задач явилась выработка строгих математических средств «взвешивания» распределений, для чего и были выработаны существенно новые понятия — энтропии и количества информации.

Сравнивая между собой распределения, легко заметить, что одно распределение может отличаться от других прежде всего числом различных возможных значений, которые могут принимать соответствующие случайные величины. Далее, при равенстве числа возможных значений случайной величины, распределения могут различаться значениями вероятностей, которые сопоставляются каждому из этих значений случайной величины.

Естественно, что общий критерий, позволяющий сравнивать распределения, должен отражать различия между ними. Эти соображения, а также ряд других (физического и математического порядка) приводят к тому, что в качестве общего, абстрактного критерия (свойства), позволяющего количественно сравнивать одни распределения с другими, «взвешивать» их, в теории информации выступает энтропия распределений (энтропия вероятностной системы, энтропия случайной величины или же энтропия опыта по измерению соответствующей случайной величины).

Энтропия распределения H некоторой случайной величины x определяется через сумму Σ произведений ве-

роятностей всех возможных значений случайной величины (n — число возможных значений) на логарифмы этих вероятностей, взятую с обратным знаком:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i.$$

Энтропия характеризуется рядом свойств, обуславливающих ее применение в исследованиях. Прежде всего она обращается в нуль, когда нет разнообразия, т. е. когда отсутствует теоретико-вероятностная постановка задачи (случайная величина как бы характеризуется одним возможным значением). Далее, при увеличении числа возможных значений случайной величины энтропия увеличивается, а при заданном числе возможных значений она достигает максимума, если каждому значению величины сопоставляются одинаковые вероятности.

Существенно, что энтропия обладает свойством аддитивности, т. е. при объединении независимых вероятностных систем в одну их энтропии суммируются. Наконец, энтропия распределения определяется таким образом, что можно установить тот вклад в общую энтропию, который вносится каждым возможным значением случайной величины.

Представления об энтропии в логическом отношении служат основой для определения понятий информации и ее количества. Эти понятия в теории информации определяются через энтропию, через ее изменения при переходе от одних распределений к другим. Вместе с тем понятия энтропии и информации оказываются настолько родственными, что реальное значение энтропии обычно определяется в связи с понятием информации.

Соответственно сказанному, понятие информации выступает как весьма существенная характеристика вероятностных распределений, вероятностных систем. Поскольку понятие информации по своей природе является новой характеристикой, олицетворяющей дальнейший этап в развитии теории вероятностей, его нельзя логически вывести из других, более простых и ранее сложившихся в теории вероятностей характеристик. Для определения подобных понятий используются аналогия, примеры, соображения интуитивного порядка, имеющие

своей целью теоретически выразить новую практику. При раскрытии содержания понятия информации широко используются соображения комбинаторного порядка.

Обратимся к примеру. Пусть перед нами стоит простейшая в теории связи задача — передача определенных сообщений с помощью некоторого набора камешков. Условия задачи могут меняться, образуя два предельных случая. В первом мы имеем набор камешков, не отличающихся один от другого. Естественно, что при этом условии различные сообщения можно соотносить лишь с различным числом камешков или с различными их конфигурациями. Например, два камешка могут означать, что лицо, интересующее нас, находится на работе, а три камешка — что оно отсутствует; при этом если три камешка расположены в линию, то это может означать, что данное лицо находится в отпуске, а если они расположены в виде треугольника — лицо находится в краткосрочной служебной командировке. Ясно также, что простая замена одного камешка любым другим не вносит в исходное состояние некоторого их набора какого-либо разнообразия, необходимого для передачи различных сообщений.

Другой предельный случай составляет такой набор камешков, когда каждый из них отличается от любого другого. Легко видеть, что этот набор камешков может образовать максимальное число разнообразий, с которыми можно связывать различные, отличающиеся друг от друга сообщения. В данном случае при передаче сообщений любой отдельный камешек и любое возможное их сочетание будут нести самостоятельную смысловую нагрузку, и, следовательно, с помощью этого множества мы можем передать больше сообщений.

Подобные примеры, характеризующие внутреннюю структуру некоторых множеств с точки зрения богатства элементов и разнообразия оттенков, можно умножить. Пусть имеется некоторый коллектив людей. Отвлекаясь от специфической задачи, поставленной перед этим коллективом, можно говорить о различных формах его организации. Если члены этого коллектива объединены таким образом, что каждый из них органически дополняет другого, а не повторяет его, т. е. «обладает» самостоятельной ценностью, то можно сказать, что этот коллектив характеризуется большими внутренними потен-

циальными возможностями по сравнению с равновеликим коллективом, где его члены «повторяют» друг друга, лишены индивидуальности. Аналогичным образом если статьи по некоторой проблематике стригутся редактором под одну гребенку, то они будут менее действенны, более скучны по сравнению с теми статьями, в которых сохраняется авторская индивидуальность.

Приведенные примеры заведомо просты и элементарны. Однако они позволяют, на наш взгляд, яснее осознать тот подход к анализу внутренних структурных параметров, который используется в теории информации для оценки и сравнения вероятностных распределений. Внутренняя структура множеств, потенциальный запас различий внутренних состояний, обусловленных этой структурой, — вот что определяет информацию (соответственно энтропию) вероятностных систем. При этом особое внимание уделяется анализу способов и оснований включения элементов в вероятностную систему. Опыт показывает, что обычно те сообщения, которые для исследуемого множества наиболее редки, представляют наибольший интерес по тем или иным соображениям, и соответственно эти классы сообщений в теории информации рассматриваются как обладающие наибольшей информационной емкостью, т. е. характеризующиеся наибольшим количеством информации. Например, сообщение о том, что современный автомобиль развивает скорость порядка 100 км/час несет гораздо меньше информации, чем о том, что автомобиль развивает скорость свыше 300 км/час.

Следует отметить, что в общем случае разбивка исследуемых потоков сообщений на классы, как это подчеркивает У. Эшби⁴, определяется не только внутренними свойствами самих этих множеств возможных сообщений, но и адресатом: некоторые сообщения, относимые специалистами или осведомленными лицами к классу чрезвычайной важности, другими лицами могут относиться к классам анекдотов.

Введение в теорию связи понятия количества информации позволило существенно продвинуться в исследовании задач, связанных с анализом форм выражения, передачей, преобразованием и хранением информации. В частности, на основе этого понятия оказалось возмож-

⁴ См.: У. Росс Эшби. Введение в кибернетику, ч. II, М., 1959, гл. 7.

ным определить зависимости между множеством сигналов, используемом для передачи сообщений, типом передающего устройства (пропускная способность канала) и классом передаваемых сообщений. Введение этого понятия дало возможность К. Шеннону решить ряд общих проблем по оптимальному кодированию сообщений при их передаче по некоторым каналам связи.

Как это часто бывает в развитии науки, решение, казалось бы, частной задачи приводит к разработке таких новых понятий и представлений, которые выходят далеко за рамки интересов исходной задачи и зачастую приобретают общетеоретическое значение. Так случилось и с понятием информации. Уже из изложенного ясно, что оно служит для характеристики и исследования весьма широкого класса множеств безотносительно к их конкретной природе, будь то множества сообщений или материальных объектов и сущностей. В основе развития теории информации лежит анализ множеств, имеющих вероятностную структуру, и она выступает прежде всего как своеобразное «исчисление» вероятностных структур. Было раскрыто новое свойство вероятностных систем, позволяющее характеризовать их с точки зрения богатства заложенных в них внутренних возможностей и градаций, проявляющихся при их функционировании. Соответственно этому информация обобщенно определяется через представления о разнообразии⁵ и неоднородности в строении и движении материи⁶.

Признание абстрактной природы понятия информации, как оно сложилось в теории информации, ставит вопрос о необходимости уточнения терминологии. Сила абстрактных понятий — в их отвлечении от конкретной природы вещей. Нет необходимости жестко связывать понятие информации лишь с обычными сообщениями, сколь бы значительно это ни было само по себе. Вместе с тем понятие информации довольно часто рассматривают как синоним понятия знаний (сведений) вообще, и только. В силу этого необходимо достаточно строго проводить разграничение между понятием информации в смысле комбинаторного разнообразия (информация-1)

⁵ См.: У. Росс Эшби. Введение в кибернетику, ч. III.

⁶ См.: В. М. Глушков. О кибернетике как науке.— В кн. «Кибернетика, мышление, жизнь». М., 1964, стр. 53.

и понятием информации в смысле сведений, знаний (информация-2).

Конечно, между этими двумя видами информации нет жесткой разграничительной линии. Представления об информации-1 были порождены при анализе процессов передачи по каналам связи информации-2 и в свою очередь широко используются для анализа последней. Вместе с тем существующие представления об информации-2 значительно шире и богаче внутренними возможностями, поскольку их структура включает в себя такие характеристики, как ценность, значимость, уровни обобщений и др. Как представления о ценности информации (и аналогичные им) связаны с концепцией разнообразия — пока еще весьма не ясно, но вполне допустимо, что сам анализ этого вопроса будет опираться на развитие концепции разнообразия.

Все сказанное означает, что сила воздействия теории информации на современное научное мышление обусловлена прежде всего тем, что она представляет дальнейшее развитие теоретико-вероятностных концепций. Вместе с тем теория информации — столь сильное обобщение теории вероятностей, что выходит далеко за рамки последней. Уже первые попытки раскрытия существа понятия информации (информации-1), как уже отмечалось, привели к соображениям комбинаторного порядка. Рассматривая содержание комбинаторного подхода в теории информации, А. Н. Колмогоров обращает специальное внимание на его «логическую независимость от каких бы то ни было вероятностных допущений»⁷.

Признание фундаментального значения понятия информации в структуре современного познания и его логической независимости от ранее выработанных обобщающих концепций, связанных с понятием вероятности, позволило А. Н. Колмогорову выдвинуть новую программу исследований, направленную на дальнейшее развитие теории информации. Сущность этой программы выражена в следующем его высказывании: «Информация по своей природе — не специально вероятностное понятие. Исходное представление об информации, как числе двоич-

⁷ А. Н. Колмогоров. Три подхода к определению понятия «количество информации». — «Проблемы передачи информации», т. I, вып. 1. М., 1965, стр. 4.

ных знаков, необходимых для того, чтобы выделить определенный объект из конечного множества объектов, ничего общего с теорией вероятностей не содержит. Лишь в более высоких разделах теории информации сейчас доминируют вероятностные методы. Возможно, однако, что соотношения между теорией информации и теорией вероятностей радикально изменятся. Я не хочу сейчас развивать здесь концепцию (меня лично она все более привлекает), по которой отношения эти могут быть обратными современным, и не теория вероятностей будет основой высших разделов теории информации, а в основе теории вероятностей будут лежать понятия теории информации»⁸.

А. Н. Колмогоров отмечает, что, несмотря на плодотворность вероятностного подхода к определению количества информации, он все же весьма ограничен, характеризуется весьма узкой областью применения. Последнее особенно очевидно при рассмотрении весьма сложных и развитых объектов исследования, с которыми имеет дело современная наука. Чтобы определить количество информации некоторого объекта на путях вероятностного подхода, необходимо рассматривать этот объект либо как элемент некоторой статистической совокупности с определенным распределением вероятностей, либо же считать, что он состоит из некоторого набора весьма слабо связанных между собой элементов. Например, отмечает А. Н. Колмогоров, в настоящее время модно выражение «количество наследственной информации», необходимой для воспроизведения особи некоторого вида. Вероятностный подход к определению такого количества информации ведет к двум возможным исходным моделям. В первом случае необходимо рассмотреть совокупность всех «возможных видов» с заданным на этой совокупности распределением вероятностей. Но что означает такое распределение и как оно определяется — остается совершенно не ясно. Во втором случае необходимо допустить, что вид характеризуется простым набором слабо связанных, практически независимых друг от друга переменных. Это допущение также нельзя

⁸ А. Н. Колмогоров. Проблемы теории вероятностей и математической статистики. — «Вестник Академии наук СССР», 1965, № 5, стр. 95.

признать состоятельным, если считать, как это и делает современная наука, что вид характеризуется системой согласованных существенных признаков, возникшей в результате естественного отбора.

Аналогично в рамках вероятностного подхода оказывается бессмысленной постановка таких вопросов, как, например, о количестве информации, содержащейся в тексте «Войны и мира». Вероятностный подход в этом случае предполагает либо рассматривать роман «Война и мир» включенным в некую совокупность «возможных романов» с наличием устойчивого распределения вероятностей, либо же считать, что отдельные сцены романа практически не взаимосвязаны, не характеризуются сколь-нибудь существенным единством авторского замысла. Любая из этих возможностей бессмысленна уже в своих исходных посылах.

В противоположность вероятностной постановке задачи, отмечает А. Н. Колмогоров, нас практически чаще всего интересует вопрос о количестве информации в отдельном, индивидуальном объекте. Реализацию новой программы А. Н. Колмогоров связывает с разработкой алгоритмического подхода в исследованиях по теории информации. В этом плане развиваются определения основных понятий теории информации — энтропии и количества информации — и ее исходных соотношений. Важнейшее значение придается некоторому универсальному методу программирования, построения того или иного исследуемого объекта. Вводится оценка программы через ее длину и соответственно этому — понятие относительной сложности исследуемого объекта⁹.

Не вдаваясь в специальные вопросы, следует отметить некоторые особенности нового подхода, которые показывают, что он носит обобщающий характер и открывает широкие возможности в анализе проблем теории информации. Алгоритмический подход к проблеме информации, как и вероятностный, особое внимание уделяет анализу и сравнению структур исследуемых объектов, оценке качества тех программ, которые определяют теоретическое воспроизведение этих объектов

⁹ См.: А. Н. Колмогоров. К логическим основам теории информации и теории вероятностей.— «Проблемы передачи информации», т. V, вып. 3. М., 1969, стр. 3—7.

из некоторых заданных. Именно этим целям служат введенные А. Н. Колмогоровым представления об относительной сложности объекта. Весьма примечательно и ценно, что на такой основе оказываются в принципе возможными сравнение и оценка гораздо более широкого класса структур. Вероятностные структуры в рамках новых представлений носят частный характер и соответствует весьма слабому уровню развития методов «программирования», методов построения достаточно развитых объектов.

Интересно рассмотреть следующую аналогию. Пусть перед нами стоит задача теоретического воспроизведения некоторого объекта на языке определенного класса понятий и представлений. Если при таком воспроизведении объекта используется максимально большое число независимых понятий и представлений, то это означает, что между элементами описания фактически отсутствуют логические связи, что связи между этими элементами носят случайный характер. Раскрытие логических связей ведет к раскрытию структуры соответствующей теоретической системы и уменьшению в ней доли случайного.

Обобщающая природа нового подхода в теории информации проявляется не только при анализе природы случайного; она связана вообще с теми возможностями, которые несет в себе общая теория алгоритмов. Идеи теории алгоритмов привлекают все большее внимание в современной науке. Все чаще отмечается, что именно на путях этой теории происходит в наши дни проникновение математических методов в биологию, экономику, лингвистику и в другие, более «высокие» этажи научного знания. Резко возрос удельный вес теории алгоритмов в структуре самой математики.

Все это означает, что идеи теории алгоритмов отвечают определенным внутренним потребностям развития современной науки, характеризующейся переходом к исследованиям весьма сложных и развитых объектов. Прежде всего это касается поисков путей развития математических форм познания и отображения явлений жизни. Например, Н. Рашевский обращает особое внимание на разработку методов познания динамики жизни, в ходе которой происходит непрерывное преобразование и обновление материальных структур. Он подчеркивает

процессообразный характер алгоритмических действий и отмечает наличие логической аналогии между биологическими процессами и алгоритмами. Н. Рашевский полагает, что «дальнейшее развитие теории алгоритмов, вероятно, приведет к таким ее формам, которые могут оказаться изоморфными биологическим процессам. И если бы это произошло, тогда теоремы об алгоритмах могли бы быть преобразованы в утверждения о биологических процессах»¹⁰.

В современных методологических исследованиях важнейшее синтезирующее значение приобретает разработка общих представлений о сложных управляющих системах. В становлении этих представлений важнейшее значение имеет развитие идеи об уровнях во внутреннем строении и детерминации систем, что является предпосылкой раскрытия их внутренней активности и управления. В развитии этой идеи совершенно иные и новые возможности открывает теория алгоритмов. Разработка представлений о структурных уровнях существенным образом опирается на анализ закономерностей взаимосвязей между соседними «единицами» структурной организации материи, на анализ путей и способов образования одних объектов из некоторых исходных. В теоретическом плане это прежде всего проявляется в выработке новых, более абстрактных понятий.

Следует сказать, что специальное внимание обращается на вопросы абстрагирования и идеализации при рассмотрении основ конструктивного направления в математике, ядро которого и образует теория алгоритмов. Представители конструктивного направления отмечают определенную ограниченность сложившихся методов абстрагирования и идеализации, особенно проявляющуюся при изучении новых понятий и представлений, возникших в результате многоступенчатых актов абстрагирования¹¹. Вообще следует сказать, что «общая направленность конструктивной математики состоит в построении таких математических теорий, для которых путь от аб-

¹⁰ Н. Рашевский. Математические основы общей биологии.— В кн. «Математическое моделирование жизненных процессов». М., 1968, стр. 277.

¹¹ См.: Н. А. Шанин. О критике классической математики.— «Труды Математического института им. В. А. Стеклова», т. LXVII. М., 1962, стр. 285.

страктного мышления к реальным объектам и связям между ними, к экспериментальному материалу являлся бы менее косвенным и более обозримым, чем в соответствующих теориях классической математики»¹².

В теории алгоритмов основные объекты исследования рассматриваются конструктивным образом, т. е. как образованные (построенные) из некоторых исходных. Это означает, что уже исходные представления теории алгоритмов включают в себя определенные идеи и способы отображения различных уровней в структуре теоретических систем. С развитием теории алгоритмов формулируются фундаментальные теоремы, отображающие закономерности построения достаточно сложных «конструктивных» объектов из некоторых фиксированных. Вполне реально допустить, что такие теоремы будут соответствовать (в определенной степени будут изоморфными) общим закономерностям взаимоотношений между структурными уровнями в сложных управляющих системах.

Можно надеяться, что и алгоритмический подход в теории информации позволит существенно продвинуться в этой области. Если в современной теории информации рассматриваются свойства множеств с достаточно простой, вероятностной структурой, то развитие алгоритмического подхода в теории информации нацелено на то, чтобы включить в сферу ее исследований системы с ясно выраженными уровнями внутреннего строения и детерминации и с преобразованиями во внутренних структурах. Совершенствование методов исследования столь сложных систем по самому существу связано с процессами обобщения в современном познании.

Итак, понятие информации зарождалось на путях современных обобщений теории вероятностей. Однако весьма быстро выяснилось, что оно логически независимо от понятия вероятности и даже имеет более фундаментальную природу. Тем самым был поставлен вопрос об анализе основ теории вероятностей и, соответственно, природы случайного на базе теоретико-информационных представлений.

¹² Н. А. Шанин. Конструктивные вещественные числа и конструктивные функциональные пространства.— Там же, стр. 22.

4. О путях развития учения о сложных системах

Таким образом, развитие теоретико-вероятностных методов, раскрытие природы вероятности происходят на основе установления их соответствия (довольно-таки однозначного) с развитием общих представлений о сложных управляющих системах, образующих сердцевину современного учения материалистической философии о принципах структурной организации материи как наиболее широкой базы для синтеза знаний. Другими словами, развитие и дальнейшая судьба вероятностных идей зависят от развития учения о сложных управляющих системах. И весьма примечательно, что практически каждая отрасль современной науки вносит свой вклад в развитие наших представлений о сложных системах и методах их исследования. Если в физике идея вероятности дала возможность перейти к исследованию систем с двумя относительно самостоятельными уровнями кодирования информации, то использование идей и принципов симметрии и инвариантности в ходе современного развития физики элементарных частиц означает, по-видимому, переход к исследованию на базе математических методов теории групп нового, более глубокого уровня кодирования информации. К такому заключению можно прийти на основе рассмотрения функциональной роли принципов инвариантности в физике, которая «состоит в выявлении структуры или взаимосвязи законов природы, точно так же как законы природы выявляют структуру и взаимосвязь совокупности событий»¹³.

Вместе с тем следует отметить, что зависимости, вскрываемые на основе представлений о симметрии и инвариантности в современных исследованиях физики элементарных частиц, относятся фактически к одному, высшему уровню кодирования информации; они представляют собой зависимости внутри и в пределах только этого уровня, хотя и наиболее фундаментального. Те зависимости, которые связывают различные уровни кодирования информации и представляют собой правила перекодирования, в этих случаях не рассматриваются. «Теория групп,— отмечает Ф. Дайсон,— вызывает неудовлетворение тем, что оставляет без объяснения мно-

¹³ *Е. Вигнер*. Симметрия и законы сохранения.— «УФН», 1964, т. 83, вып. 4, стр. 731.

гое, что желательным было бы объяснить. Она прекрасно выделяет те аспекты природы, которые можно понять на языке одной только абстрактной симметрии. Но с ее помощью трудно надеяться получить объяснение таинственных проявлений живой материи, числовых значений времен жизни частиц, различной интенсивности их взаимодействия. Следовательно, значительная часть количественного экспериментального материала еще ждет своего объяснения. Метод теории групп означает столь сильную абстракцию, что многие существенные и конкретные особенности реального мира выпадают из рассмотрения»¹⁴.

Если считать, что полнота информации о системе достигается тогда, когда используется язык (знаки) всех выделенных уровней кодирования информации, а также что «истинная» научная теория выражает зависимости между знаками всех уровней кодирования информации, то естественной выглядит недостаточность методов теории групп. Для полнокровного отображения реальных ситуаций в физических процессах представляется как реальная задача «прошивка» всех наличных уровней, и наиболее общий случай этой «прошивки» основывается на признании относительной независимости и самостоятельной ценности каждого из соответствующих уровней кодирования информации. Во всяком случае использование современной физикой языка инвариантов и симметрии свидетельствует об успешности ее проникновения на новый, более высокий уровень кодирования информации.

Выработка представлений о принципиально новых уровнях в структуре материи и соответствующих методов исследования имеет существенное значение для развития общего учения о сложных управляющих системах. В этом отношении интересно отметить, что В. И. Вернадский связывал проникновение в физику идеи вероятности, а также идей необратимости, симметрии и других, с проникновением в эту науку духа биологии¹⁵.

Наибольший фактический, собственно естественнонаучный материал для развития общего учения о сложных системах дает современная биология. При этом важней-

¹⁴ Ф. Дайсон. Математика и физика.— «УФН», 1965, т. 85, вып. 2, стр. 364.

¹⁵ См., например: В. И. Вернадский. Биогеохимические очерки. М.— Л., 1940, стр. 175—197.

шее место здесь принадлежит, на наш взгляд, генной проблеме как проблеме соответствия структур и функций отдельных живых организмов структурам и процессам на молекулярном уровне живого, как проблеме исследования взаимосвязей между различными уровнями строения живого. В переходах от генов к целостным организмам содержится весьма значительное число уровней кодирования информации, определить которое с достаточной точностью пока невозможно. Но можно определенно сказать, что в этих взаимосвязях и переходах есть линия и жесткой детерминации, когда генный код однозначно определяет принадлежность организма к известному виду с его существенными признаками и свойствами; но здесь имеется и относительная автономность, которая приводит к существенному разнообразию особей в пределах вида, без чего невозможны их естественный отбор и развитие.

В общей постановке развитие учения о сложных системах стимулируется прежде всего исследованием ведущих проблем познания высокоорганизованных систем — их строения и эволюции. Эти проблемы как бы венчают современное естествознание, и соответственно методы исследования высокоорганизованных систем впитывают в себя наиболее существенные результаты, достигнутые в развитии всего комплекса естественных наук.

В том отборе и обобщении идей и фактов отдельных отраслей науки, которые обеспечивают ее прогресс в целом, роль внутритеоретического направляющего каркаса играет математика. Соответственно этому те идеи и результаты специальных наук будут прежде всего содействовать развитию общего учения о сложных системах, которые повлекут за собой или, точнее, будут дополнены в логическом отношении развитием и обобщением математики, будут содействовать непрерывному усилению ее роли.

VIII

Заключение

Одним из основных положений марксистской философии является положение об историческом характере мышления. «Теоретическое мышление каждой эпохи...,— отмечал Ф. Энгельс,— это — исторический продукт, принимающий в различные времена очень различные формы и вместе с тем очень различное содержание»¹. Признание исторического характера теоретического мышления означает, что в своем развитии оно проходит через закономерную смену этапов. При этом, разумеется, речь идет о действительном мышлении, т. е. о мышлении, которое выражается в приобретении конкретных знаний и опирается на развитие философских представлений о строении и эволюции материального бытия и познания. Соответственно этому важнейшее значение имеет анализ форм выражения знаний, их становления и развития.

Основной и наиболее содержательной формой выражения знаний о некоторой области действительности является научная теория как относительно замкнутая концептуальная система. Отсюда следует, что основные этапы в развитии знаний характеризуются прежде всего общностью принципов, лежащих в основе логического построения исторически определенного класса научных теорий. Под логической структурой научной теории мы понимаем особенности состава понятий и их объединения в относительно замкнутые системы. Логика построения научных теорий определяет также те основания, которые обуславливают включение новых элементов в эти концеп-

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 366.

туальные системы и особенности постановки исследовательских задач. Исходные принципы логического построения научных теорий образуют основу исторически значимого стиля мышления в естествознании. Наиболее значительные изменения в развитии естествознания связаны с перестройкой логической структуры научных теорий, что в конечном счете ведет к изменению стиля мышления.

Из того, что говорилось в данной работе, следует, что вероятностные методы образуют основу определенного стиля мышления, характерного для современного естествознания. Вероятностный стиль мышления пришел на смену классическому, характеризующему логику построения первых относительно замкнутых естественнонаучных теорий, и прежде всего теорий классической физики. Логическая структура классических теорий определяется двумя факторами: однозначностью связей и равноценностью всех параметров. Такие теоретические системы получили название систем жесткой детерминации.

В противоположность классическому вероятностный стиль мышления придает гибкость внутренней структуре соответствующих теоретических систем, что связано с изменениями в логической структуре научных теорий. Произошли прежде всего изменения в особенностях состава понятий, в теоретические системы введен новый класс абстрактно-обобщенных понятий. Другими словами, в вероятностных теориях понятия делятся на два логических класса по степени их общности и роли в структуре теорий. На традиционном философском языке наличие различных по своей логической природе понятий характеризуется через категории необходимости и случайности. В теориях, основанных на принципе жесткой детерминации, случайность не включалась в структуру теоретических систем. Развитие вероятностных методов исследования привело к тому, что в структуру теоретических систем стали включаться понятия, относящиеся к классу случайных.

Идея вероятности входит в исследования, когда приобретает существенное значение определенная субординация между понятиями в пределах одной теории. Сама по себе идея субординации весьма стара. Заслуга теории вероятностей — в первом развитии математических основ «теории субординации» систем с наивысшим уровнем организации — автономной организацией.

Применение теоретико-вероятностных идей в наши дни неразрывно связано с развитием общих представлений о сложных управляющих системах.

Вместе с тем «собственно» вероятностные системы — исходные объекты исследования теории вероятностей — представляют собой достаточно простой случай сложных систем: структура субординации в них имеет дело всего лишь с двумя относительно выделенными автономными уровнями. Но именно эта идея уровней придает внутреннюю гибкость вероятностному стилю мышления, делает его более общим, более содержательным и глубоким в сравнении со способом мышления, основанном на схеме жесткой детерминации. Удалите в вероятностных структурах гибкость в связях между уровнями, подвижность одного относительно другого — и вы вернетесь к структурам жесткой детерминации.

Говоря об особенностях внутренней структуры сложных систем, необходимо подчеркнуть, что высокоорганизованные системы, особенно биологические, характеризуются гораздо большим разнообразием структурных уровней и форм субординации между ними. Современные теоретические исследования таких систем вскрывают определенную ограниченность вероятностного стиля мышления, ведут к его видоизменению и обобщению. Это развитие в принципах постановки исследовательских задач и в теоретических формах выражения знаний обусловлено прежде всего разработкой того комплекса новых научных направлений, который обычно собирательно обозначается словом «кибернетика». В основе этих направлений лежат исследования новых подходов к проблеме управления, анализ ее роли и значения в структуре науки.

Конечно, проблема управления исследовалась и до появления кибернетики. Однако в тот период строгие математические методы фактически основывались на схеме жесткой детерминации. В кибернетике проблема управления ставится достаточно широко — с учетом автономности и внутренней активности подсистем. Тем самым кибернетический подход открывает определенные возможности для обобщения вероятностных концепций. Идея вероятности завоевала в «точном» естествознании гражданские права для независимости и автономности элементов, образующих вероятностные системы. Кибернетический анализ идет дальше: автономность и независи-

мость рассматриваются им как необходимые предпосылки исследования высокоизбирательного и эффективного функционирования систем управления в целом. Автономность и независимость важны не сами по себе, а во имя определенных целей и действий. На то разнообразие возможностей, которое дает вероятность, накладывается определенный принцип перебора, способ выявления их отнительной ценности.

Вероятностные методы стимулируют современные исследования сложных управляющих систем. В ходе этого происходит развитие самих вероятностных концепций, соответственно чему углубляется наше понимание природы вероятности и оснований ее приложений. Сказанное означает, что в последние годы наметился существенный сдвиг в самой постановке методологии теоретико-вероятностных методов исследования. Если раньше анализ природы вероятностных идей и методов связывался преимущественно с проблемами анализа физического познания, особенно с проблемами, поставленными переходом от классической физики к современной, то в настоящее время анализ природы вероятности все больше связывается с проблемами методологии, встающими в ходе исследования высокоорганизованных систем. Именно этим обуславливается огромное значение материалистической диалектики в осмыслении природы вероятности. Проведенный в настоящей работе анализ природы вероятностных методов исследования в плане современного развития общего учения о сложных управляющих системах и представлял собой попытку раскрыть основы достаточно цельного понимания особенностей вероятностного стиля мышления.

Содержание

I. Определение общей задачи	3
1. О значении вероятности	6
2. Вероятность и математика	10
3. Вероятность и развитие современного учения о принципах структурной организации материи	22
4. Борьба старых и новых идей	34
II. О системах	50
1. Уровни структурной организации и детерминации	51
2. Исходные задачи системного синтеза	58
3. Объект как элемент системы	67
III. Жесткая детерминация	77
1. Тотальная однозначность связей	79
2. Равноценность связей	86
3. Вопросы синтеза	91
4. К критике концепции жесткой детерминации	93
IV. Исходные идеи теории вероятностей	99
1. От случайных событий к вероятностным распределениям	101
2. К дискуссиям относительно определения вероятности	114
V. Распределения как структурные характеристики	126
1. Уровни внутренней организации в вероятностных системах	128
2. Синтез вероятностных систем (классическая физика)	136
3. Синтез вероятностных систем (квантовая теория)	145
4. Объект как элемент статистических систем	149
5. Задание распределений	154

VI. К дискуссиям относительно статуса вероятностной неоднозначности	157
1. Неоднозначность в свете необходимости и случайности	159
2. Вероятностная неоднозначность в свете категорий возможности и действительности	164
3. Вероятностная неоднозначность и познание сущности	167
4. Элементарная причинность. Абстрактная возможность	171
VII. Пути дальнейшего анализа	180
1. Об аксиоматическом построении теории вероятностей	181
2. От статики к динамике	184
3. Вероятность и информация	186
4. О путях развития учения о сложных системах	199
VIII. Заключение	202

Юрий Владимирович Сачков

ВВЕДЕНИЕ В ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МИР

Утверждено к печати

Институтом философии АН СССР

Редактор *В. В. Барсуков*

Художник *М. К. Шевцов*

Художественный редактор *Н. Н. Власик*

Технический редактор *А. М. Сатарова*

Сдано в набор 26/VIII 1971 г.

Подписано к печати 19/XI 1971 г.

Формат 84×108^{1/32}. Бумага № 2.

Усл. печ. л. 10,92. Уч.-изд. л. 10,6.

Тираж 8800 экз.

T-17292. Тип. зак. 4721

Цена 64 коп.

Издательство «Наука»

Москва К-62, Подсосенский пер., д. 21

2-я типография издательства «Наука»

Москва Г-99, Шубинский пер., 10

64 коп.

