

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

ПРОФЕССОР

ИОГАНЗЕН Бодо Германович

ОСОБЕННОСТИ
РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1981

В работе характеризуется состояние и тенденции развития современной науки о природе. Рассматривается роль общенаучной картины мира, создаваемой совместными усилиями философов и исследователей в области конкретных наук. Авторами сделана попытка сформулировать некоторые методологические рекомендации. Главы монографии написаны в основном специалистами соответствующих областей естествознания. Монография адресована студентам, аспирантам и преподавателям вузов, всем, интересующимся философскими и методологическими проблемами естествознания.

Рецензент — д. т. н. В. И. Горбунов

Редактор — профессор А. К. Сухотин

201
177(012)-80 5-80

© Издательство Томского университета, 1981 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Есть немало обстоятельств, в силу которых современный исследователь не может (и не должен) замыкаться в границах своей узкой специальности. Мы и в прошлом не найдем среди крупных ученых таких, кто был бы лишен широты интересов, приспособлен лишь к своему предмету. Наша же эпоха установила повышенные нормы научной компетентности.

Дело не просто в том, что современная наука чаще развивается в пограничных областях, на пересечении дисциплин, что растет роль научных коллективов, стягивающих специалистов весьма различного профиля, заставляя их присматриваться к делам друг друга.

Решающим оказывается то, что вообще открытия представляют обычно сплав разделенных большими пространствами знаний. Как заметил еще М. В. Ломоносов, ученый должен уметь сближать «далековатые идеи». А. Д. Пойа уже в наши дни подчеркивал, что математика, например, есть искусство наведения мостов над пропастью, и чем дальше отстоят объединяемые ученым идеи, тем богаче результат.

Ныне историки науки, науковеды и философы все настоятельнее подчеркивают влияние (быть может, не заметное для глаза и все же достаточно эффективное) естественнонаучной картины мира и социокультурного фона эпохи на научное творчество. Ибо (о чем свидетельствуют факты науки) специалисту, скажем, физику, химику, или биологу, полезно зна-

комство с достижениями соседних областей естествознания. Не менее, а порой и более важно овладеть завоеваниями всей человеческой культуры, т. е. и сферой гуманитарного, и социального познания.

Известно, что немало плодотворных подсказок пришло в науку о природе со стороны, казалось бы чуждых ей областей человековедения и искусства.

Все это, кажется, не вызывает теперь сопротивления. Сейчас едва ли кто станет открыто недоумевать, зачем физику нужна поэзия? Нам хотелось бы подчеркнуть другое. И здесь мы подошли к решающему месту наших рассуждений.

Потребность в овладении естественнонаучными идеями остро почувствовали не только сами естествоиспытатели, но и представители гуманитарных сфер. Еще во времена печально известного препирательства между лирикой и физикой наиболее дальновидные из стана лирики справедливо обвинили своих коллег в невежестве. Было замечено, что в той мере, в какой справедливо упрекать иных естествоиспытателей в незнании искусства, столь же заслуживают упрека и те писатели, критики, художники, которые отстали от науки и знакомы с ее успехами, с достижениями научно-технической революции понаслышке.

Одним словом, созрели времена, когда гуманитарии ощутили, что знакомства с естествознанием, получаемого из вторых рук, благодаря философии, научно-популярной литературе, через кино и телевидение недостаточно.

Представители гуманитарной науки все более явно осознают неизбежность, так сказать, очной ставки с результатами естественнонаучной мысли.

В 1977/78 учебном году в Томском университете по инициативе декана исторического факультета профессора Б. Г. Могильницкого был организован для студентов-историков спецкурс «Актуальные проблемы современного естествознания», прочитанный ведущими специалистами университета.

Настоящее издание представляет собрание лекций, подготовленных в виде глав по отдельным (к сожалению, не всем) основным разделам современного естествознания.

Глава «Методология науки и методологические проблемы естествознания» написана доцентом В. В. Чешевым. «Философские проблемы математики» — доцентом В. Б. Родосом. «Современные проблемы космологии» — доцентом Р. Г. Лазаревым. «Основные понятия и некоторые перспективы кибернетики» — профессором Ф. П. Тарасенко. «Методологические аспекты проблем современной химии» — доцентом С. В. Дозморовым. «Экология в прошлом, настоящем и будущем» — профессором Б. Г. Иоганзенем.

МЕТОДОЛОГИЯ НАУКИ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Задача знакомства с современной наукой является весьма сложной. Традиционно это знакомство означало приобщение широкой публики к достижениям и открытиям науки. Однако такой подход не может соответствовать ситуации, сложившейся в наше время. Достижения науки столь многообразны и многочисленны, а дифференциация научных направлений столь велика, что даже специалисты смежных разделов не всегда имеют представление о том, что делается в соседней области. Поэтому приходится ориентироваться на наиболее существенные открытия и теоретические достижения соответствующих отраслей знания.

Но на этом пути нельзя построить завершенной картины современной науки не только потому, что нельзя описать все научные дисциплины. Ориентация на освещение научных достижений сама по себе является ограниченной, поскольку позволяет, в лучшем случае, ознакомиться с результатами научной деятельности, а не процессом их получения. Между тем картина современной науки будет односторонней, если останется в тени сама познавательная деятельность, характер проблем, возникающих перед учеными, и пути их решения. Проще сказать, нельзя рассматривать науку, не обращаясь к рассмотрению научного метода и анализу деятельности человека, вовлеченного в познавательный процесс, т. е. методологии науки.

Мы не ставим здесь своей задачей исследовать конкретные методологические (философские) вопросы той

или иной науки. Они будут рассматриваться специалистами соответствующих отраслей знания в других разделах этой книги. Наша задача состоит в том, чтобы указать на проблемы методологии науки и на ее подход к решению этих проблем. Методология науки тесно связана с теорией познания. Поэтому нам придется указать общие и различные черты проблем теории познания и методологии науки. Основное положение, которое необходимо принять во внимание для понимания последующего, состоит в том, что комплекс проблем, обсуждаемых в теории познания и в методологии науки, обусловлен особенностями теоретического знания.

Особенности теоретического знания

Проблемы теории познания, как и проблемы методологии, могли возникнуть лишь тогда, когда возник сам объект анализа, т. е. теоретическое знание и познавательная деятельность теоретического уровня. Что характерно для научно-теоретического знания, по каким особенностям можно зафиксировать его появление? Ответ на этот вопрос может быть следующим. Появление теоретического знания связано с употреблением понятий, абстракций, еще лучше сказать, абстрактно-теоретических схем. Они лежат в основании теоретического слоя научного знания. Сами теоретические схемы можно обнаружить по следующему признаку: теоретические схемы строятся как взаимоотношения и взаимосвязи абстрактных объектов. В соответствии с этим теория строится как описание свойств и корреляций абстрактных объектов, из которых построена схема. Высказывания теории отнесены непосредственно к этим абстрактным построениям.

Характерные примеры построения и использования абстрактно-теоретических схем можно обнаружить уже в античной науке. Так, зарождение основных теорем статики стало возможно на основе схемы равновесия рычага (рис. 1).

Элементами представленной здесь теоретической схемы являются такие абстрактные объекты, как сила (давление), точка приложения силы, плечо силы, точка

вращения рычага. На основе этой схемы Архимед смог сформулировать основные правила равновесия рычага и основные теоремы статики. Абстрактные объекты подобного рода легко обнаружить в основании любой современной физической теории. Так, механика использует такие абстракции, как систему отсчета, силу, импульс,

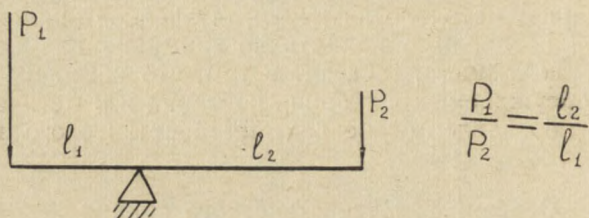


Рис. 1

энергию и т. п. На использование понятий, вводящих соответствующие абстракции, опирается также теория общественных наук. Можно указать на такие понятия, как «базис», «надстройка», «производительные силы», «эпоха», «общественно-экономическая формация» и т. п.

Использование абстрактно-теоретических схем содержит в себе предпосылку для постановки весьма сложной проблемы соотношения знания и реальности. Суть возникающей здесь трудности обнаруживается следующим образом. В процессе восприятия реальности и в нашей предметной практике мы сталкиваемся с предметами, которые представляют собой всякий раз некоторую чувственную единичность. Так, античные механики имели дело с блоками, шкивами, веревками, деревянными деталями, из которых в конечном счете можно было сложить реальный рычаг, ворот, полиспаст и т. п. Однако в статике как научной дисциплине речь идет о предметах, которые не могут быть обнаружены как отдельные чувственно воспринимаемые тела.

Теория строится как совокупность высказываний о свойствах и связях абстрактных объектов, а элементы теоретической схемы не являются предметами природы. Между тем статика претендует быть знанием о законах природы.

В сфере научно-теоретического знания мы сталкиваемся обычно с весьма своеобразной проблемой, заключающейся в том, что теоретическое знание, претендующее на право быть знанием о природе, строится как совокупность высказываний об абстрактных объектах, не являющихся элементами природы. Утверждение о том, что теория раскрывает законы природы, не является совершенно очевидным и требует специального обоснования. Если теория действительно является знанием о природе, то должны существовать особые правила соотнесения высказываний об абстрактных объектах с реальностью, т. е. особые механизмы соотнесения абстрактно-теоретических схем с природной действительностью. Без построения особой концепции, раскрывающей связь теоретических построений и реальности, наука утратила бы свою уверенность в том, что она раскрывает законы природы.

На сложность проблемы соотнесения абстракции и реальности указывал К. Маркс, когда подчеркивал, что категория «стоимость» есть абстракция, в которой не содержится ни грана вещества, так что стоимость нельзя рассмотреть под микроскопом или исследовать иным путем, кроме чисто теоретического разворачивания содержания этого понятия. Эта абстракция не обозначает особого природного (или, хотя бы искусственного) предмета. Стоимость обнаруживает себя лишь в структуре общественных отношений. Тем самым обнаруживается, что понятие «стоимость» может быть соотнесено с объективным процессом общественного бытия только особым образом.

Использование теоретических понятий и абстрактно-теоретических схем приводит со временем к постановке проблемы, суть которой заключается в следующем: необходимо как-то показать, что теоретические высказывания, построенные как высказывания о свойствах и отношениях абстрактных объектов, действительно являются высказываниями о законах природы или, иначе говоря, обладают объективным значением. Рано или поздно перед наукой должна была возникнуть проблема объективности знания, решение которой связано с рассмотрением механизмов объективации абстрактно-теоретических построений, с рассмотрением того, как

и почему знания о предметах, не существующих в мире, доступном человеческому восприятию и практическому действию, являются знаниями о законах природы. Возникшую проблему, будем впредь называть проблемой объективности теоретического знания (или проблемой объективации теоретического знания).

Решение проблемы объективности знания в философии

Проблема объективности знания впервые осознается в философии и представляет собой одну из основных («глобальных») философских проблем. Начальная фаза развития теоретической науки совпадает с появлением первых попыток решения проблемы объективности научного знания.

Первые элементы научного знания складывались в математике, астрономии, медицине и т. п. Но знания этого рода в античное время носили преимущественно рецептурный характер и не основывались на теоретических схемах, претендующих быть изображением сущностных сил природы. Одной из первых теоретических схем, объясняющих природу, явилась распространенная в античной философии концепция, согласно которой существует некоторое первоначало мира и множество чувственно воспринимаемых предметов, зависящих в своем происхождении и в своих свойствах от природы первоначала. Такое представление о природе было выдвинуто, в частности, Фалесом из Милета, утверждавшим, что «все из воды» и что вода — первоначало мира.

В этой простейшей объяснительной схеме постулируется существование особого объекта, отличного от предметов чувственного восприятия. Таким объектом является первоначало, сконструированное, бесспорно, чисто теоретически как объяснительный принцип фалесовской конструкции мира. Существование первоначала в принципе не могло быть установлено эмпирическим путем, поскольку оно не является наблюдаемым объектом. Проблема объективации предложенной теоретической схемы приняла форму вопроса о реальности первоначала, о способе его существования. Необходимо было показать, что первоначало действительно представляет

собой особую природную реальность, порождающую множество чувственно воспринимаемых вещей. Разработка этой проблемы могла вестись и велась чисто теоретическим путем и породила множество различных концепций первоначала, тем или иным способом решающих поставленную проблему.

В более остром и более обнаженном виде проблема объективности теоретического знания была поставлена в исследованиях Платона, обсуждавшего вопрос об объективности понятий (идей), которыми пользуется человеческое мышление, в частности, объективности таких понятий, как «прекрасное», «добродетель», «справедливость» и т. п. Все эти понятия обозначают не единичные предметы, а некую реальность, отличную от самих единичных вещей, например, прекрасное самое по себе. Необходимо либо показать, что объекты, обозначаемые понятиями, существуют и особым образом связаны с чувственно воспринимаемыми предметами, либо отказаться от признания объективности человеческого знания, общезначимости нравственных ценностей и т. п., на чем настаивали софисты. Решение исследуемой проблемы Платон находит в том, что постулирует существование особой сверхчувственной реальности (мира «эйдосов»), представляющей собой истинное бытие вещей, в отличие от их чувственно воспринимаемого бытия. Чувственно воспринимаемые вещи подобны эйдосам. Таким путем возникает онтология (конструкция мира) объективного идеализма.

Принципиально другое учение о природе развивает Демокрит, который постулирует существование атомов — мельчайших корпускул, образующих природные вещи. Познание вещей — это познание свойств и отношений атомов. Поскольку атомы недоступны чувственному восприятию (вследствие их малости), то познание сущностного, истинного бытия вещей достигается посредством разума. Свойства вещей являются следствием свойств атомов и их комбинаций. Так возникает онтология материализма, в которой истинное бытие вещи хотя и недоступно непосредственному чувственному восприятию, является материальным как в смысле объективности существования, так и в том смысле, что оно носит предметный, вещный характер. Чувственное

бытие вещей рассматривается как форма выражения их истинного, сущностного бытия.

Таким образом, в рамках философии проблема объективации теоретического знания решается первоначально с помощью построения онтологии, в которой различается чувственное бытие вещей (реальность чувственного восприятия) и истинная, сущностная реальность (истинное бытие). Эти два вида реальности обозначались как физическая и метафизическая реальность. Сущностная (истинная) реальность представляла собой ту действительность, в которой существовали такие объекты, как первоначало, эйдосы, атомы, единое и т. п. Тем самым происходила объективация теоретического знания, которое рассматривалось как знание об истинной природе вещей. Заметим, что философская онтология создавалась не как результат целенаправленного эмпирического исследования, а как теоретическая конструкция, появление которой обусловлено проблемой объективности знания.

В последующем, однако, философская онтология выполняла не только функцию объективации теоретического знания, но и функцию научной картины мира.

Различие между материализмом и идеализмом на этой стадии решения вопроса заключается главным образом в различных представлениях о характере действительной, сущностной реальности. Если объективный идеализм отождествляет ее с миром вещей нематериальных, сверхчувственных (эйдосы, абсолютный дух и т. п.), то материализм рассматривает ее как материальную, предметную действительность, доступную в принципе познавательной деятельности субъекта (атомы, первоначальные элементы, материя). Объективный идеализм односторонне заострял внимание на гносеологических особенностях абстракций, используемых человеком, но его онтология была неконструктивна и глубоко чужда духу наблюдательной и экспериментальной науки. Картина мира, выдвигаемая материализмом, была более конструктивной и соответствовала естественнонаучным представлениям. Материализм подчеркивал познаваемость мира, объективную значимость теоретических построений науки, но мало

внимания уделял особенностям теоретического познания полагая, что познание совершается посредством чувственного восприятия и последующего мысленного обобщения чувственного материала. Однако теоретические понятия не могут быть получены путем непосредственного индуктивного обобщения материала чувственного восприятия. На эту слабость метафизического материализма обратил внимание субъективный идеализм, по-своему поставивший вопрос о соотношении знания и действительности.

И. Кант настаивал, что познание вырастает из двух независимых источников — мышления и восприятия. Он показал, что метафизическая картина мира выстраивается нашим сознанием, которое, согласно И. Канту, содержит в себе априорные (независимые от опыта) формы мышления, соединяемые в опыте с чувственным восприятием. Создаваемые разумом мысленные конструкции не имеют никакого отношения к истинному бытию вещей и попытка познать истинное бытие является иллюзией. Основная задача философии как считает И. Кант, состоит не в построении той или иной концепции метафизической (сущностной) реальности, а в ответе на вопрос, как возможна метафизика, как возможна наука вообще? Поэтому задачу философии он видел в исследовании человеческого мышления, человеческого познания.

И. Кант был прав в том, что формы мышления и содержание абстракций не выводятся непосредственно из чувственного восприятия. Однако его решение проблемы соотношения знания и реальности является неудовлетворительным. Одна из слабостей его представления о познании состоит в том, что формы мышления он считает априорными (независимыми от опыта). Это привело Канта к отказу от принципа объективности знания. По Канту, познание состоит в соединении априорных форм мышления с материалом восприятия. Поэтому наше знание соотносится только с чувственным опытом и описывает явления, но не способно раскрыть истинную природу вещей. В этом и состоит кантовский агностицизм.

Отказ от решения проблемы объективности знания характерен вообще для всех видов субъективного идеализма. В XIX—XX вв. позитивизм подверг резкой кри-

тике метафизику, философию, всякие представления об истинной (сущностной) природе вещей, считая их ненаучными. Поскольку с признанием «истинного» бытия традиционно связывалось представление об объективности знания, то, отбросив метафизику как учение о сущностном бытии вещей, позитивизм начисто отказался решать проблему объективности знания. Знание было ограничено описанием опыта. В центре внимания оказалась при этом проблема соотношения теоретических высказываний с протокольными высказываниями, фиксирующими непосредственные восприятия субъекта. Этой проблемой занимался логический позитивизм (неопозитивизм) в середине XX века.

Одной из причин появления субъективного идеализма в частности, неопозитивизма, явились объективные трудности, возникшие в процессе развития философии и науки. Традиционный натурфилософский подход к решению вопроса об объективности знания, основанный на построении той или иной онтологии, оказался неадекватным развитию экспериментальной науки Нового Времени. Последовала резкая критика традиционного подхода к решению проблемы объективности, выразившаяся в критике метафизики и в отказе от нее, наиболее последовательно проводившейся неопозитивизмом. Однако субъективно идеалистически настроенные философы не смогли найти новых путей решения проблемы и практически отказались как от попыток решения проблемы объективности знания, так и от самого принципа объективности, ограничив свое понимание истинности соответствием теоретической концепции опытным данным.

Конструктивный путь решения проблемы объективности знания был предложен диалектическим материализмом. Он состоит в том, чтобы ввести в философию и теорию познания представление о предметной активности субъекта, о его практической деятельности. Объективность знания должна расшифровываться через призму предметной активности субъекта. На это указывал К. Маркс в своих «Тезисах о Фейербахе», когда подчеркивал, что «главный недостаток всего предшествующего материализма — включая и феербаховский — заключается в том, что предмет, действительность, чувствен-

ность берется только в форме объекта, или в форме созерцания, а не как человеческая чувственная деятельность, практика, не субъективно»¹.

Практика формирует мышление субъекта и в этом заключается преодоление кантовского априоризма. Теоретические объекты, в свою очередь, конструируются мышлением, но свое объективное содержание они получают через формы практики, обозначая взаимосвязи вещей, складывающиеся в предметных структурах деятельности. Так, стоимость не является предметом, который можно рассматривать в микроскоп. Она вообще не является каким-либо субстратом (веществом). Рабочий, подходя к станку и изготавливая деталь, производит стоимость, хотя сам этого может и не знать. Природа стоимости не дана в этом акте изменения предмета труда, она обнаруживает себя в характере отношений, сложившихся в процессе производства. Рабочий продал свою рабочую силу, и произведенный им продукт, отчужденный от работника, поступит в продажу как собственность нанимателя. Здесь, как и в науках о природе, мы говорим на языке особых теоретических схем и теоретических понятий, выстраивая систему объектов, хотя и имеющих объективное содержание, не существующих тем не менее как чувственная единичность. Стоимость не является природным предметом, она вообще не является субстратом. Попытка объективировать это понятие на основе натурфилософского (онтологического) подхода к проблеме объективности теоретического знания не будет иметь успеха.

Преимущество деятельностного подхода к решению проблемы объективности знания состоит в том, что он способен соединить объективное значение понятий, абстракций, теоретических схем с их операциональным содержанием, операциональным происхождением. Если принять во внимание, что теоретические построения обозначают не сами операции, а свойства и отношения предметов, выявляемые в этих предметных операциях, то опасность субъективизма отпадет сама собой. Зато преодолевается ограниченность натурфилософского подхода, превращающего всякий теоретический объект

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 3, с. 1.

в реально существующий эйдос, невесомый флюид и т. п. Так, в природе нет магнитных силовых линий, они не являются предметами, существующими сами по себе. Но объективное значение этой абстракции состоит в том, что она отображает некоторые реальные свойства магнитного поля, иначе говоря ей может быть поставлена в соответствии некоторая объективная реальность. В частности, касательная к силовой линии всегда указывает направление вектора напряженности магнитного поля (направление, в котором действует сила притяжения или отталкивания), а густота силовых линий является показателем численного значения этой силы. Точно так же в природе нет материальных точек, однако эта абстракция позволяет анализировать движение тел, ибо движение материальной точки можно отождествить с движением центра тяжести тела, не имеющего вращения.

Таким образом, диалектический материализм указал принципы решения проблемы объективности знания, преодолевающие как недостатки метафизического материализма так и ограниченность позитивистской концепции реальности, ограничивающейся представлением о реальности опыта, существующей лишь в отношении к субъекту познания. Диалектическая концепция объективности знания служит в то же время основанием для построения методологии науки.

Проблемы методологии науки и развитие естествознания

В философии проблема объективности научного знания была одной из главных и поиски решения этой проблемы составляли важнейшую сторону в ее развитии. Касалась ли эта проблема конкретных вопросов науки, ставила и ставит ли вообще наука перед собой подобные проблемы?

Как правило, естествознание не ставит в явном виде вопроса об объективности своих теоретических построений. Оно опирается на те решения, которые предложены философией, а также приняты и включены в содержание науки явным или неявным образом. Ученый обычно умеет сопоставлять свои абстракции

с предметной реальностью, что позволяет ему рассматривать свои знания как знания о законах природы. Этому умению он обучается в процессе овладения научным знанием ибо теория включает в себя не только теоретические схемы и их математическое описание, но и процедуры их интерпретации, соотнесения с внешней реальностью. (Здесь дело обстоит так же как и при использовании «естественного» языка. Мы умеем в каждой конкретной ситуации соотносить языковые термины с предметами, не задумываясь над природой значения или даже над абстрактным смыслом слова). Однако в ряде случаев естествознание вынуждено осознавать проблемы, обусловленные использованием теоретических объектов, и искать пути их решения (чаще всего выбирать из множества тех вариантов, которые предлагает философия и научное мировоззрение).

В ситуациях, когда проблема объективности знания встает внутри естественной науки, она осознается как «проблема реальности» (или «проблема физической реальности»). Возникает вопрос, что собственно является объектом опытной науки: некоторая природная реальность, не данная нам непосредственно, но обнаруживаемая опосредованно через данные наблюдения или же объектом опытной науки является реальность опыта, соотнесенная с субъектом, так сказать, «реальность по отношению». Характерным примером решения проблемы реальности объектов исследования явилось постулирование И. Ньютоном абсолютного пространства, абсолютного времени и абсолютного движения. Поскольку понятия пространства, времени и движения играют столь фундаментальную роль в построении механики, то Ньютон связывает с этими понятиями объективную, независимую от наблюдателя реальность, отличающуюся от относительного движения, пространства и времени. При этом Ньютон ясно сознавал, что исследователь имеет дело всякий раз с относительным пространством и временем, а также с относительным движением. Однако решение вопроса о взаимосвязи относительного и абсолютного дана им в духе методологии науки XVII столетия. Ньютон полагает, что в изменении относительных величин находит свое выражение изменение величин абсолютных. Поэтому, напри-

мер, ускорение как приращение абсолютного движения одинаково во всех системах отсчета. Не вдаваясь в те слабости ньютоновских представлений, которые были обнаружены в последующем, заметим, что концепция абсолютного движения, пространства и времени родилась у Ньютона не столько под влиянием экспериментальных исследований, сколько в качестве ответа на задачу объективации теоретического знания, объективации той реальности, которую описывают законы механики.

Вопрос об объективном значении понятий науки возникал и в других ситуациях. В частности, эта проблема скрывалась за исследованием природы бесконечно малых в математике, ибо задача здесь заключалась в том, чтобы представить бесконечно малые как особые природные реальности. Заметим, что К. Маркс в «Математических рукописях» обращал внимание на операциональную природу бесконечно малых. Аналогичная проблема стояла и при попытках истолковать природу сил инерции и т. п.

В тех случаях, когда естествознание сталкивается с вопросом объективного смысла своих понятий (проблемой реальности), оно не выдвигает всеобщего и универсального решения вопроса, а ограничивается тем решением, которое удовлетворяет конкретные потребности теоретического знания. В основе решения, которое ищет естествознание, лежит тот или иной способ объективации теоретического знания, предложенный философией и освоенный научной традицией. Однако всякое частно-научное решение проблемы объективности знания требует исследования места того или иного теоретического понятия в структуре научной теории, его происхождения и связи с экспериментом. Ответы на эти вопросы дают методологические исследования, предметом которых является структура и развитие научной теории.

Методология науки тесно связана с философско-гносеологическими исследованиями. Но в центре методологических исследований стоит не столько проблема объективности знания, сколько особенности теоретического знания, пути его построения, его соотношение с опытом. Можно даже утверждать, что методология

науки представляет собой приложение философии (теории познания) к конкретным задачам развития науки. Методологические исследования, доводимые до конкретных вопросов возникновения и объективного значения отдельных понятий, вводимых в структуру научного знания, позволяют решать конкретные проблемы построения теории.

Попытки исследовать структуру теории предпринимались неопозитивистами. Однако их подход страдал односторонностью, ибо неопозитивизм сводил теорию к совокупности высказываний, связанных правилами вывода. Такое представление крайне обедняет содержание естественно-научной теории. Ее структура более сложна и, как указывает В. С. Степин, в структуре естественнонаучной теории необходимо выделять по крайней мере такие составляющие, как теоретические схемы, образующие основание теории, и математический аппарат, привлекаемый для описания взаимосвязи характеристик абстрактных объектов теоретической схемы. При этом научно-теоретическое знание многослойно. На эмпирическом уровне оно является описанием эмпирических схем, «снимаемых» с объектных структур практики. На теоретическом уровне существует два субординированных слоя теоретических схем, именно: частно-теоретические и фундаментальные схемы, составляющие основание частных и фундаментальных естественнонаучных теорий. Однако теоретические схемы не дедуцируются друг из друга непосредственно. Они являются результатом конструктивной работы. Так, эмпирические схемы возникают на основе схематизации предметных структур экспериментальной и практической деятельности, складывающейся при оперировании конкретными предметами. Частно-теоретические схемы строятся на основе операций с абстрактными объектами эмпирических схем, а фундаментальные — на основе операций с абстрактными объектами частно-теоретических схем².

Предложенное В. С. Степиным изображение структуры научной теории позволяет вскрыть некоторые механизмы ее становления. Прежде всего выясняется, что

² См.: Степин В. С. Становление научной теории. Минск, 1976.

генезис теории есть главным образом генезис ее теоретических схем. Поэтому важной задачей методологии науки оказывается изучение того, как возникают и перестраиваются указанные теоретические конструкции. Как показывает В. С. Степин, конструирование теоретических схем может идти различными путями. С одной стороны, принципиально новые абстрактные объекты могут быть введены на основе процедур схематизации экспериментальной практики. Этот путь был широко распространен в период становления опытной науки. В развитой науке возможны другие способы построения теоретических схем, осуществляемые посредством перенесения абстрактных объектов из одной области научного знания в другую. При этом происходит перестройка соответствующих абстрактных объектов, в ходе которой они могут утратить одни свойства и приобрести другие. Одновременно осуществляется проверка их способности служить средством описания экспериментальной ситуации в новой области знания.

Рассмотрение генезиса теоретических схем позволяет убедиться в том, что в их формировании участвуют различные факторы. Среди естествоиспытателей нередко распространено мнение, что опыт, эксперимент, является единственным источником построения теории. Опытные данные обобщаются мышлением человека и таким путем возникает теория. Однако развитие науки XX в. достаточно ясно обнаруживает ограниченность такого представления. Генетически теоретические построения предшествуют научному эксперименту (но не предметной практике в целом). Постановка эксперимента опирается на ту или иную теоретическую концепцию. Если она не соответствует эксперименту, не «накладывается» на эксперимент, то необходимо ее перестроить, что и делается по мере развития научного знания. Но без теоретической концепции эксперимент вообще не мыслим, ибо не будет представлять собой планомерной исследовательской работы, а окажется совокупностью не связанных между собой практических процедур. Сама последовательность и связь экспериментальных процедур всегда определяется теоретическими представлениями исследователя.

По этой причине не только процесс построения тео-

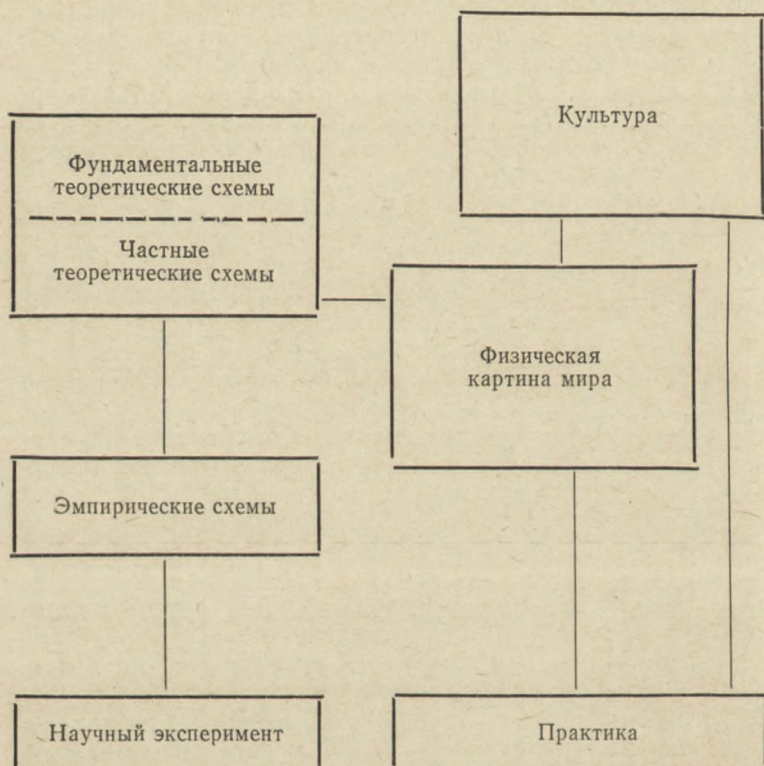
рии, но и проверка правильности ее основных положений не может ограничиться ее соответствием эксперименту. Практика строительства паровых машин вполне уживалась с концепцией теплорода. Более того, С. Карно, практически сформулировавший второй принцип термодинамики, также опирался на концепцию теплорода, рассматривая работу паровой машины как преобразование энергии теплорода, падающего с более высокого уровня (высокая температура) на уровень более низкой температуры по аналогии с работой гидротурбины, воспринимающей энергию потока воды, падающего с высокого уровня на более низкий. Однако термодинамика, построенная на основе концепции теплорода и не противоречащая практике строительства паровых машин, не могла рассматриваться как подтверждение концепции теплорода. Это показывает, что процесс объективации теоретических конструкций, как и процесс их построения, не может удовлетвориться их соответствием тому или иному эксперименту.

Мыслительные процедуры построения теории не могут опираться только на экспериментальную деятельность. В структуре научного знания и механизме его развития важное значение имеет так называемая физическая картина мира (см. схему), которая как бы впитывает в себя опыт познавательной и практической деятельности человека. Главная функция картины мира в том, что она задает представление о реальности, о том, что есть природа. Время от времени происходит изменение физической картины мира, но эти изменения совершаются реже, нежели изменения в конкретных физических теориях, а принципиальные перестройки физической картины мира различают целые «эпохи» в развитии науки.

Создаваемые теоретические конструкции сопоставляются не только с экспериментом, но и с физической картиной мира. Тем самым они проверяются на конструктивность, на их соответствие основным представлениям о реальности, принятым в науке. Точно так же физическая картина мира может играть существенную роль в процессе объективации теоретического знания. Объекты, вводимые теоретиком, должны получить как операциональное (экспериментальное) оправдание, так

и занять определенное место в физической картине мира или, по крайней мере, соответствовать ей. В последнем случае они приобретают определенный «онтологический статус» и могут рассматриваться как средства отображения объективной реальности. Например, в теоретических построениях классической механики присутствуют такие понятия, как материальная точка, пространственные координаты тела, скорость, импульс и т. п. Эти абстракции, используемые в конкретной теории, связаны с представлением о телах, абсолютном пространстве, абсолютном времени, абсолютном движении и т. п.,

Схема



входящим в физическую картину мира. Ученый, работающий с абстракциями классической механики, соотно-

сил их с реальностью не только через эксперимент, но и через физическую картину мира, которой он располагал. Операции над конкретными физическими величинами могли расшифровываться им как действия над телами природы. Объективное значение пространственных координат рассматривалось как характеристика положения тела в объективно существующем пространстве, представление о котором задавалось физической картиной мира; понятие «ускорение» интерпретировалось как приращение абсолютного движения в абсолютном пространстве и т. д. (Заметим, что и в современных конкретных теориях физики нет точного определения пространства. Однако характеристика пространства как особой реальности присутствует в физической картине мира, где на смену абсолютному пространству Ньютона пришло пространство системы отсчета Эйнштейна).

Содержание физической картины мира определяется не только развитием естественной науки. Она формируется как результат совокупного практического опыта. По этой причине она может играть существенную роль в процедурах объективации теоретического знания. При этом физическая картина мира тесно связана со множеством различных социально-культурных факторов и, как указывает В. С. Степин, включается в социально-культурную среду той или иной эпохи и служит своеобразным эталоном научных взглядов общества на определенном этапе его развития. Социально-культурные факторы, определяющие характер мышления той или иной эпохи, в том числе стиль научного мышления, воздействуют через картину мира. Существенную роль в формировании этой картины играла философия. По мере изменения социальных условий бытия могли существенно изменяться те представления о реальности, которыми пользовалось общество. Если в начале XIX в. в Германии было популярно учение Гегеля, представлявшее действительность как некий абсолютный разум, то во второй половине XIX в. приобретает авторитет учение Шопенгауэра, в котором мир изображается как иррациональная воля. Смена принципиально различных представлений о действительности обусловлена в данном случае принципиальной сменой ценностей, на которые ориентировано общественное

сознание. В научной картине мира столь резкие изменения не наступают в столь короткий срок. Но представления о физической реальности, распространенные в науке XX в., чужды методологии науки XVIII столетия. Концепция относительности пространства и времени, лежащая в основании релятивистской механики, едва ли была бы принята наукой XVIII в., ибо она противоречила ее взглядам на реальность и соотношения теории и эксперимента.

Исследователем осознаются далеко не все методологические установки, ценности и т. п., принимающие участие в формировании теории. И чем меньше они осознаются, тем меньше шансов на достижение результата. Ученый, который ориентировался бы только на соответствие теории экспериментальным данным, был бы подобен изобретателю, который ищет удовлетворяющую его конструкцию методом проб и ошибок. Но практически нет такого теоретика, который не обладал бы знаниями из области методологии науки, или, по крайней мере, не усвоил некоторые приемы деятельности, соответствующие стилю мышления своего времени и представлению о реальности. Становление фундаментальной теории происходило всякий раз в процессе интенсивного обсуждения ее философско-методологических оснований. Так было со вторым принципом термодинамики, когда анализ методологических оснований теории вылился в споры по поводу теории «тепловой смерти» Вселенной. Так было и с классической механикой, построение которой опиралось на стиль мышления и методологию классической науки. Наконец, появление специальной теории относительности и квантовой механики породило множество проблем методологического характера, обсуждение которых не завершено до настоящего времени.

Некоторые методологические проблемы естествознания

Развитие естествознания в XX в. дает ряд примеров постановки и решения методологических проблем, органически связанных с прогрессом в познании природы. Кризис в области методологии физической науки обнаружился в конце XIX—начале XX вв. и получил название «кризиса физики». Его возникновение связано

с преодолением традиционного натурфилософского подхода к проблеме объективации теоретического знания. Основная методологическая проблема, поставленная в это время, касалась представлений физиков об объекте познания. Вопрос заключался в следующем: является ли объектом познания некая природная реальность (материя), познаваемая нами в опыте, или же объектом познания является совокупность ощущений («элементов мира»), взаимную корреляцию которых описывает теоретическое знание? На втором варианте настаивал махизм, считавший, что понятия обозначают ряды ощущений, а не объективную реальность внешнего мира.

В решении поставленной проблемы наметилось два пути. Один из них предложен теорией познания диалектического материализма, опирающегося на представление о практической природе познания. Объектом познания в широком смысле признается в этом случае объективная природная реальность, данная субъекту в формах практики. В то же время объектом исследования конкретных научных дисциплин выступают связи и отношения вещей, реконструируемые посредством абстрактно-теоретических схем разного уровня. К ним непосредственно отнесены утверждения теории, в то время как объективация теоретических схем происходит как на пути их соответствия эксперименту (операциональное подтверждение теории), так и за счет выяснения объективного смысла связанных с ними онтологических представлений, что осуществляется посредством сопоставления их с физической картиной мира. В противоположность этому неопозитивистская традиция сводит исследуемую реальность к данным опыта, односторонне абсолютизируя операциональную природу понятий и отказываясь от обсуждения объективного онтологического статуса понятий. Тем самым объект познания сводится позитивизмом к «непосредственно данному», к реальности опыта, которая всегда существует лишь в отношении к наблюдателю.

Ряд важных методологических вопросов современной науки порожден особенностями построения теории, характерными для науки XX в. В физике, например, широкое распространение получил метод математической гипотезы, при использовании которого новые результаты достигаются за счет операций, производимых

в сфере математического аппарата теории. Однако движение в плоскости математического формализма должно быть сопряжено с перестройкой содержательных теоретических схем. В противном случае новая теория может утратить физический смысл, сохраняя достоинства формального построения, достоинства математической модели. В результате перед наукой встает вопрос: как соотносятся математический аппарат и содержательные представления, воплощаемые в абстрактно-теоретических схемах естественных наук. С этой проблемой пришлось столкнуться, в частности, при построении квантовой механики и при попытках построить достаточно общую и универсальную теорию элементарных частиц.

Проблема физической реальности, понимаемая как проблема объективного смысла абстрактно-теоретических схем науки, и проблема роли математического аппарата в исследовании природы являются наиболее важными в развитии науки XX в. С ними связаны другие, более конкретные вопросы, как, например, содержание и роль принципа соответствия, принципа дополненности, принципа причинности и т. п.

Методологически проблемы могут возникать везде, где происходит формирование теоретических представлений и их сопоставление с реальностью. Знание о природе теоретических построений, об их отношении к опытным данным столь же необходимо при построении теории, как и эмпирический материал, для объяснения которого строится теория. Поэтому, как мы уже указывали, знакомство с современной наукой не может ограничиться описанием ее открытий. Всякое экспериментальное исследование оплодотворяется теорией, ибо экспериментальные данные сами по себе теории не создают. Она возникает как продукт человеческого разума, как результат размышлений, в которые вплетены многообразные факторы. Знакомство с методологией науки, исследующей строение и развитие теоретического знания, становится в настоящее время не только важным средством развития творческого мышления. Оно является необходимым элементом научного образования, так как непонимание методологических трудностей, стоящих перед наукой, является препятствием к их преодолению.

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ

Вне социального и психологического рассмотрения каждая из наук представляет собой группу в разной степени плодотворных теорий. Эти теории и недавно еще образованные и вполне сформировавшиеся обогащают науку бережным и аккуратным накоплением истин относительно окружающей нас реальности. Количественный и качественный рост числа истинных утверждений — важнейшая характеристика прогресса науки. (При этом качественный рост выражается в выявлении основных истин, истин максимальной общности и наибольшей эвристической значимости — истин-законов). Конкретные, повседневные проблемы науки и ее теорий могут быть определены как проблемы установления истинностного значения того или иного спорного положения. Естественно, что решение таких вопросов относительно одних предложений тут же порождает аналогичные, рабочие проблемы относительно следующих, новых.

От рабочих, конкретных проблем существенно отличаются вопросы философско-методологические. Если первую группу проблем можно охарактеризовать как «внутренние», «внутринаучные», «внутритеоретические», «тактические», то вторая, о которой в основном и пойдет речь, выглядит внешней, «стратегической». С методологических высот научная теория, наука видится в целом, в направлении ее развития, в тенденциях этого развития. Не конкретные вопросы, непрерывно встающие перед учеными — представителями

определенной науки и неутомимо решаемые этими учеными, но вопросы общие, вечные, неизменные в своей сути на любой стадии становления знания. К таким общим, внешним, стратегическим вопросам относится прежде всего вопрос о специфике отражения действительности в данной научной отрасли, о ясном определении той стороны, той проекции реального мира, которая одна только и доступна изучению в данной науке, но зато только в ней. Гарантии и критерии истинности положений, отстаиваемых в теории, особенности и состав ее понятийного словаря, ее методов исследования, ее аргументации, короче, те вопросы, которые в равной мере относятся к любой из теорий, составляющих науку, но не решаются и даже не ставятся ни в одной из них.

Интерес к внешним, методологическим вопросам отнюдь не равномерен и полностью зависит от положения дел, складывающихся в науке. В периоды относительно спокойного ее развития, постепенного и последовательного накопления истин, во времена, когда наука овладевает новыми методами для обнаружения истин главными, безусловно, становятся вопросы рабочие, внутренние, конкретные, поставленные самим движением научной идеи. В такие победные времена поступательного прогресса основы науки кажутся незыблемыми, а способы установления истин — безупречными. Интерес именно к общим, методологическим проблемам, затрагивающим и фундамент науки, и ее инструментарий, резко возрастает в периоды научных кризисов. Понятию научного кризиса и родственным ему понятиям «кризисная ситуация», «революция в науке» и т. п. посвящена значительная мировая и отечественная философская литература¹. Отметим, что в отличие от использования этого понятия в экономической сфере и сфере социальных (например, семейных или служебных) отношений научный «кризис» не имеет столь негативной окраски. Наличие кризиса или только кризисной ситуации в науке чаще всего служит свиде-

¹ Прекрасным введением в этот круг проблем и понятий может служить: Кун Т. Структура научных революций. М., Прогресс, 1977.

тельством ее дальнейшего бурного прогресса, знаменем появления новых плодотворных идей, гипотез и методов.

Причиной возникновения наиболее сокрушительных кризисов в сфере науки всегда становится противоречие. Если нам удастся различить виды встречающихся в науке противоречий, то это может оказаться полезным при создании классификации самих научных кризисов. Назовем несколько типов научных противоречий и, соответственно, кризисов, вызванных обнаружением этих противоречий.

Противоречие теории и реальности

Первый из типов кризисов возникает, если в теории приняты (доказаны, установлены) истины, следствия которых не согласуются, идут вразрез с данными наблюдений, опыта, эксперимента. Такие ситуации нередко складываются в эмпирических науках (физике, химии, биологии и т. п.). Именно такие ситуации имеются в виду, когда говорят: «Если факты противоречат теории, тем хуже для теории». Драматизм такого рода событий зависит и от практической важности теории, натолкнувшейся на несоответствие действительности, и от того, каково место, значение утверждения (или закона) теории, непосредственно противостоящего факту реальности.

Несовместимость теорий

Другой тип кризисов, которые могут возникать и возникают в науке, обусловлен появлением нескольких (двух или больше) альтернативных теорий, претендующих на правильное описание одного и того же фрагмента действительности, но логически несовместимых между собой. Примером такой ситуации может служить одновременное существование волновой и корпускулярной теорий света в физике. Произошедшее в середине нашего века разделение ученых-геологов на две противоборствующие группы—фиксистов и мобилистов—свидетельствует о наличии подобной ситуации и в науке о земле. Однако нечеткость терминологии, а, в еще большей степени, наличие фактов реальной истории планеты, не вполне согласующихся с обеими концепциями, смягчают, затушевывают возникший кризис.

Противоречие теории и здравого смысла

Кризисы третьего типа рождаются как следствия теоретических результатов, противоречащих научному мировоззрению их создателей. Научная теория—продукт творческого разума—выходит из-под контроля, становится независимым, не управляемым организмом, «враждебным» своему творцу. Теория, вышедшая из-под контроля исследователя, предсказывает появление объектов и событий, по его мнению, невозможных, она неожиданно оказывается непригодной для тех целей, для которых была создана.

Формально-логическое противоречие

Последний, четвертый тип противоречий (и возникающих вследствие их появления кризисных ситуаций) есть нахождение в теории формально-логического противоречия. Это редкая ситуация, когда с теоретической точки зрения одновременно верно некоторое положение (А) и его отрицание ($\bar{A}$). В этих исключительных обстоятельствах, в соответствии с законами логики «из противоречия следует все, что угодно» ($A \wedge \bar{A} \rightarrow B$), стирается строго оберегаемая наукой грань между ложью и истиной. В теории, допускающей противоречие, все положения равно истинны, сама такая теория перестает хоть что-нибудь говорить о действительности и полностью утрачивает статус научности.

Фактически любая наука, научная теория сталкивается на пути своего становления с теми или иными противоречиями и, в различной степени безболезненно преодолевая их, осуществляет предначертанную ей трассу к абсолютной истине, развивается, прогрессирует, становится все более практически полезной, живет.

Эти предварительные замечания необходимы при дальнейшем анализе философских и методологических проблем математики. Образцово строгая по структуре, по логике доказательств и построений, эта наука весьма далека от непосредственно осязаемой реальности. Уже и естественные науки описывают не саму первоизданную действительность, но ее схематизированную и

идеализированную модель. Однако праобразы естественнонаучных понятий, абстракций и идеализаций актуальны, наблюдаемы, определены в пространстве и времени. Рано или поздно истины эмпирических наук получают подтверждение или опровергаются в опыте, в эксперименте, в практике.

В этом смысле математическим понятием ничего в реальности не соответствует. Лишь небольшая часть утверждений абстрактнейшей из наук имеет к сегодняшнему дню действительную интерпретацию, а в большинстве своих разделов она напоминает нарочито сложно задуманную игру с труднодостижимыми правилами.

Конкретные науки широко используют язык математики, ее терминологию, методы и результаты. Использование математического аппарата к естественнонаучной теории повышает степень доверия к выводам самой этой теории. Тем не менее и такое опосредование конкретно-научным знанием не охватывает всей математики в целом, но довольствуется лишь некоторыми ее теориями и достижениями. Значительное число математических идей и результатов еще только ждут эмпирических фактов и открытий, которым они могли бы послужить теоретической и технической опорой. Не легко сейчас даже предсказать, в каких именно областях естественнонаучного или общественно-научного знания будут такие открытия сделаны.

Приведенная аргументация направлена против самой возможности появления в математике противоречий (а, значит, и кризисов) первого из приведенных четырех типов. Неизвестны и скорей всего никогда не будут известны факты несоответствия математических результатов эмпирии. Абстрактность математики столь высока, что и предложи кто-нибудь к рассмотрению такого, по его мнению, рода факты, едва ли это сообщение будет встречено с энтузиазмом и доверием. Наиболее вероятно, что такое предложение просто останется незамеченным или будет сочтено недостойным анализа научным озорством. Но при необходимости многочисленные скептики укажут на неправильность, неубедительность данной интерпретации математических терминов, их редукции к предметам окружающего нас

мира. Будет подвергнута сомнению общая правомерность отождествления реального положения дел с формальным выводом о лишенном качественной определенности объекте теоретического знания.

Не грозят математике кризисы и второго рода. Пусть имеются две теории: T_1 и T_2 , как будто претендующие на описание одного и того же сорта абстрактных объектов. Известными средствами можно установить дедуктивные отношения между этими теориями. При этом возможны следующие варианты:

а. Все истины теории T_1 доказуемы и в теории T_2 , являются ее теоремами, но не наоборот: имеются положения, истинные в T_2 , но не доказуемые в T_1 . В этом случае говорят, что T_1 есть собственная часть теории T_2 , а теория T_2 включает в себя T_1 и является ее расширением.

б. Обратная ситуация, когда теория T_2 есть собственная часть теории T_1 .

в. Когда все, что истинно в T_1 , доказуемо в T_2 , и наоборот. Таким образом, классы истин этих теорий совпадают, и по существу это одна и та же теория с точностью до формулировок и переименований. Доказательство такого рода фактов представляет значительный научный интерес. Во всех первых трех случаях теории T_1 и T_2 , очевидно, совместимы.

г. Классы истин теории T_1 и T_2 лишь частично совпадают². Это значит, что есть такая (под) теория T_3 , которая приходится собственной частью и T_1 , и T_2 , но не эквивалентна ни одной из них. При этом иногда механическое объединение T_1 и T_2 приводит к формальному противоречию и поэтому невозможно. В таком случае правильней всего признать, что теории T_1 и T_2 задают и описывают различные области, а не одну и ту же, и никакого противоречия, следовательно, нет и в этом случае.

История математики знает лишь примеры противоречий третьего и четвертого из указанных типов. Это

² Случай, когда T_1 и T_2 не имеют общих истин мы, естественно, не рассматриваем, так как при этих условиях не может быть и речи о какой бы то ни было общности притязаний, а значит о ситуации, предусмотренной вторым пунктом нашей классификации.

обстоятельство определяет, кстати, еще одно любопытное отличие математики от других наук.

Три серьезных кризиса характеризуют многовековую историю математики.

Первый из них разразился примерно две с половиной тысячи лет назад в школе Пифагора (570—496 гг. до н. э.), философско-математическая по интересам и существу и спортивно-клановая по организации, эта школа и до сих пор привлекает внимание исследователей-научковедов не только глубокими и оригинальными идеями и замечательными результатами в философии и математике, но и как одна из первых корпораций ученых со своеобразным уставом и укладом. Нас же в большей степени будут интересовать религиозно-идеологическая атмосфера школы и те математические исследования и их итоги, которые непосредственно предшествовали и вызвали первый в истории математики, а быть может и всей науки, кризис.

Пифагорейцы обнаружили ныне широко известный и включенный в школьные программы факт несоизмеримости стороны и диагонали квадрата. Если говорить об этом событии не на языке геометрии, а на языке теории чисел — арифметики, то в школе Пифагора было обнаружено число, не выразимое никакой конечной непериодической дробью, не равное ни одному из рациональных чисел. Итак, было обнаружено первое из иррациональных чисел — $\sqrt{2}$. Что ж тут катастрофического? Расширились представления о числах, кроме натуральных и рациональных чисел, известных и ранее, в поле интересов науки попали новые и многообещающие объекты. В общем факт, безусловнс, положительный. Но ведь и не зря говорят, что сама наука от кризисов не страдает, а лишь процветает и очищается. Страдают, подают в отставку, умирают люди, представители докризисной науки, ученые, отдавшие ей все творческие силы, вырастившие и выпестовавшие ее и поставленные перед неожиданным и убийственным фактом ошибочности своих представлений и замыслов. Осознание неверности своего научного опыта, научного мировоззрения — событие в жизни ученого драматическое, а подчас и трагическое.

Известно, что пифагорейцы обожествляли числа, считая их первоосновой всего сущего, приписывая им не только математические, но и мистические свойства, вплоть до способности вершить судьбы людей и мира. Они окружили математику и прежде всего теорию чисел суевериями и предрассудками (некоторые из этих предрассудков дожили и до наших дней). Любовно и целеустремленно изучая избранный предмет, пифагорейцы установили много закономерностей в мире чисел. Им был ведом не только ряд натуральных чисел: 1, 2, 3, 4, 5, ..., бесконечность которого скрывается где-то непередаваемо далеко за многоточием, но и рациональные числа — дроби. Бесконечность среди дробей повсюду. Между любыми двумя различными рациональными числами можно вставить новое число, больше меньшего из них и меньше большего, а это значит, что между двумя различными дробями уменьшается бесконечное множество других. (Действительно: между 1 и 2 в ряду натуральных чисел нельзя найти третьего, большего 1 и меньшего 2, но во множестве дробей примером такого числа может служить $1\frac{1}{2}$, между $1\frac{1}{2}$ и 2 можно вставить $1\frac{3}{4}$, между $1\frac{1}{2}$ и $1\frac{3}{4}$ — $1\frac{5}{8}$ и т. д. и т. д.). Ряд дробей выглядит «всюду плотным» (математический термин). Пифагорейцы хорошо знали этот надежный, всюду бесконечный монолит дробей, — верную основу и молодой науки, и идеологии. Открытие иррациональных («невыразимых», как их называл сам Пифагор) чисел обнаружило принципиальные пустоты в этом монолите и нанесло страшный удар именно и прежде всего по уверенности пифагорейцев в правоте своей философии, идеологии и религии. По легенде Пифагор сообщил об этом позорящем школу факте лишь самым посвященным и то под страшной присягой: «тетрактис». Не выдержавший же груза ошеломляющей информации ученик — Гиппас, первым сообщивший о нем миру, был примерно наказан богами: утонул в море во время шторма. Рухнули научные и философские идеалы школы, рухнула и сама школа. Нет, иррациональные числа не противоречили природе, но лишь здравому смыслу, жизненному, практическому опыту мудрых греков, их привычкам и нормам. Кризис этот,

следовательно, нужно отнести к третьему типу по предложенной классификации.

Однако падение пифагорейцев привело к быстрому распространению математической культуры в древнем мире. В конечном итоге это породило новые блестящие результаты, украсившие математику. Прежде всего следует назвать теорию пропорций Евдокса и Архимедов метод исчерпывания, предваряющий теорию интегрирования, заново открытую через много столетий.

Второй в истории математики кризис относится к XVII—XVIII вв. и связан с исчислением бесконечно малых. Бурно развиваясь, эта дисциплина, созданная одновременно и независимо двумя гениями: Ньютоном и Лейбницем, породила интегральное и дифференциальное исчисления — анализ — ту часть математики, которую теперь нередко отождествляют с высшей математикой, а иногда и самой этой наукой. Теория разрасталась, отдаляясь от своих основ, которые от этого не становились ни яснее, ни надежнее. Величина ли в привычном смысле «бесконечно малая величина»? Если «да», то почему частенько она ведет себя как 0 и прибавление ее к данной величине не дает приращения ($a + \text{бесконечно малая величина} = a$), если же «нет», то что же служит предметом изучения? Нечеткость исходных понятий, вольная аргументация, экстравагантность иных результатов вызывали и сомнения, и протесты определенной части математиков. Молодой анализ блестяще решал многочисленные практические задачи механики, физики, астрономии, но хранил в себе яд противоречия. «Идите вперед и уверенность придет», — успокаивал коллег Даламбер. Но сомнения росли, несмотря даже на триумфальные успехи математики в соседних дисциплинах. Скептиков становилось все больше. Сомнения усугублялись появлением изящных опровержений и контрпримеров ранее «доказанным» теоремам, принятым и используемым выводам. Ропот математиков нарастал — была осознана необходимость вернуться к основам популярной теории и укрепить их. В 30-х годах XIX в. О. Коши предложил аппарат исчисления пределов, построенный с удовлетворяющей коллег строгостью и полностью заменяющий «безответственную» теорию бесконечно малых. Окончательно второй матема-

тический кризис был преодолен трудами Вейерштрасса, показавшего, в частности, что современный ему анализ при аккуратном обращении не более опасен, чем безукоризненно надежная по тем временам теория чисел.

Прежде чем перейти к рассмотрению третьего, современного кризиса основ математики, отметим еще некоторые интересные и знаменательные ситуации, относящиеся к третьему типу противоречий по приведенной классификации.

Со времен исчисления бесконечно малых в математике все чаще стали появляться образования, которые не сразу и не гладко вписывались в устоявшийся и привычный мир плоскостей, чисел, радикалов и функций. Новые объекты выглядели чужаками среди «нормальных» математических сущностей, призраками. Но ведь и любые математические понятия суть абстракции высокого уровня, весьма удаленные от реальных наблюдаемых предметов природы. В каком же смысле можно говорить о существовании чисел, функций, пространств различной мерности и других математических объектов? Какими признаками должны быть наделены эти невоспринимаемые органами чувств образования, чтобы быть допущенными в сферу математических абстракций? И какими, чтобы быть от нее отторгнутыми? Удаленный от привычной и надежной окружающей нас природы математик в длительном процессе общения с гипотетическими сущностями постепенно привыкает к этому удивительному, открытому лишь мысленному взору миру, вживается в него³. С практикой, с опытом приходит и предметная интуиция узнавания «правильных (нормальных)» объектов, ощущение зримости границы между сущим и не сущим в этой науке. Это ощущение — новое (не более осознанное, нежели у пифагорейцев в момент появления иррациональных чисел) знание, скорее даже вера (хрустальная истина личного восприятия), — становится краеугольным камнем математического мировоззрения.

³ «Я думаю, что они (числа и функции анализа — В.Р.) существуют вне нас в силу той же необходимости, как и объекты реального мира, и мы их встречаем или их открываем и изучаем точно так, как это делают физики, химики или зоологи». (Эти слова Эрмита цитированы по: Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М., ИЛ, 1963, с. 29).

Мировоззрение это потому уже, что не осознано, воспринимается как единственно верное и естественное и тщательно оберегается исследователем. Объекты, не соответствующие здравому смыслу ученого, вызывают подозрение, негодование и брезгливость. Такие образования, по возможности, вовсе отвергаются, даже если доказано, что использование их безопасно — к противоречию они не приводят.

Преодолевая неприязнь и активное сопротивление, к началу XX в. в математику проникло множество подобных объектов. Значительную отрицательную реакцию вызвали мнимые и комплексные числа. Действительно, любое, в том числе и отрицательное, число возведенное в четную степень, дает число положительное (при любом a — a^2 , a^4 ,... — числа положительные). Чему же в таком случае соответствует запись $\sqrt{-a}$? Каково место мнимых и комплексных чисел среди других благопристойных математических образований? В своих лекциях Л. Янг рассказывает о том, что приблизительно 150 лет назад студенты Парижской политехнической школы устроили шумную обструкцию. Поводом к этому протесту послужило то, что их заставляли изучать комплексные числа, которые, как им казалось, не имеют и не могут иметь сколько-нибудь разумного практического применения. Это студенческое выступление по времени почти совпало с нашумевшей катастрофой судна «Медуза», когда оставшиеся в живых люди соорудили плот и, перенеся неопишуемые страдания, в конце концов почти все погибли от голода. «Кто мог вообразить,— замечает Янг,— что комплексные числа сыграют свою роль в уменьшении числа подобных несчастий? Но ведь это на самом деле так! Инженеры, придумавшие беспроволочный телеграф, применяли комплексные числа при расчете гармонических колебаний»⁴. Весьма эмоционально реагировал на появление столь же несообразных (с накопленным к тому времени опытом) математических образований Эрмит: «Я с ужасом отворачиваюсь от этой достойной сожаления язвы непрерывных функций, не имеющих про-

⁴ Янг Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления. М., Мир, 1974, с. 153.

изводной ни в одной точке»⁵. Наконец, еще один, относящийся уже к нашему веку, пример неприязненного взгляда на неординарный математический объект: «Я отвергаю... доказательство, заставившее меня на минуту поверить, что алеф-один, может быть существует»⁶. Пожалуй, наиболее известным примером введения в математику непривычной конструкции может служить геометрия, предложенная почти одновременно Лобачевским и Бойяи. Новая теория отличалась от геометрии Евклида (казавшейся единственно содержательной и возможной) отказом от постулата параллельности. В современной трактовке этот пятый из постулатов Евклида звучит так: «На плоскости, определенной прямой a и точкой A , существует не больше одной прямой, проходящей через точку A и не пересекающей прямую a ». Пятый постулат издавна казался наименее очевидным и была приложена масса усилий, чтобы превратить его в одну из теорем: вывести из остальных совершенно бесспорных аксиом. Оказалось же, что этот постулат независим, то есть не выводим из других, хотя и не противоречит им. Логически говоря, это значит, что новая система, полученная из ранее известной заменой некоторого независимого постулата на противоположный ему, не будет противоречивой. Но какой в этой новой системе смысл? Какие пространства описывает обновленная система постулатов? Не превращает ли этот трюк математику в бессодержательную игру, в которой доказываемое неизвестно что, неизвестно чему соответствующее, и уж во всяком случае не несущее никакой практической пользы? Здравый смысл, рабочая интуиция математиков противится такого рода образованиям. Ведь не случайно великий Гаусс — король математиков — не решился опубликовать свои революционные результаты по неевклидовым геометриям, опасаясь яростного сопротивления коллег, наделенных более значительной долей практического смысла.

Можно привести и другие примеры, но остается фактом, что невзирая на недоброжелательность и отпор в математику прошлого века, и что характерно в основном после очистительных реформ Коши, вошло зна-

⁵ Бурбаки Н. Указ. раб., с. 26.

⁶ Пуанкаре А. Новые идеи в математике. Сб. 10. Пг., 1915, с. 21.

чительное число объектов изумительных, разрушающих устоявшиеся представления. Математика же в целом и ее теории только выиграли от включения нетривиальных образований: исчезли неестественные ограничения, а математические конструкции стали более завершенными и внутренне изящными. В конце концов результативность, значительная и бесспорная практическая ценность теорий, включающих неординарные сущности, подорвали доверие математиков к самому здравому смыслу, к его способности вырабатывать безошибочную интуицию существования. Так, гадкие утята абстрактного мира математики к началу нашего века превратились в прекрасных белых лебедей науки. Казалось, математики навсегда смирились с мыслью, что единственный разумный критерий существования, выдающий пропуск в эту строгую науку, есть формальная непротиворечивость спорного объекта.

Теперь самое время перейти к анализу третьего, современного кризиса основ математики.

Исторически это событие разворачивалось следующим образом. Выдающийся немецкий математик Георг Кантор (1845—1918) опубликовал в середине 70-х годов прошлого века серию работ, положивших начало новой математической дисциплине — теории множеств. Понятие «множество» («класс», «совокупность», «многообразие», «ряд», «ансамбль»...) было давно и широко представлено в научном, и в том числе математическом языке (несколько раз оно использовалось и в нашем тексте). Более того, в логике была уже разработана логика классов — объемов понятий⁷.

Руководящей идеей для Кантора при создании новой теории было желание ввести в математику бесконечность в явном виде. Бесконечность... Вечно испытывает познающий разум обаяние ее неведомых глубин, удив-

⁷ Напомним, что тема понятия — одна из центральных в логике. Понятие характеризуется объемом и содержанием. Объем понятия определяется как класс предметов, выделенных и обобщенных данным понятием. Логика классов позволяет получить сложные понятия из исходных, оперируя классами — объемами этих понятий. Сами операции с классами (объединение, пересечение, дополнение и т. п.) были хорошо изучены средствами алгебры логики еще до возникновения канторовской теории и практически без изменений включены в нее.

ляется и боится ее. Понятие бесконечности на разных уровнях сложности, строгости и ответственности фигурирует во многих науках и, прежде всего, в философии и математике. Бесконечное и до Кантора входило в эту науку, хотя и не как предмет непосредственного исследования, но как недостижимый предел, запредельная (трансцендентная) инстанция. Бесконечное как таковое изгонялось из математики, так что все высказывания о нем стремились заменить соотношениями между величинами конечными. Но бесконечность вновь и вновь появилась в разных обликах, в разных понятиях: «бесконечная последовательность», «система действительных чисел», «множество точек плоскости» и т. д. «Математическая литература наводнена нелепостями и бессмысленностями, в которых большей частью повинна бесконечность»⁸.

Трудности обращения с бесконечностью ощущались и в первых двух кризисах основ математики. Но лишь в ходе преодоления современного кризиса было осознано, что математическая бесконечность появляется и задается в теориях в соответствии с принятием тех или иных специальных принципов. Эти идейно несовместимые принципы имеют философско-мировоззренческий характер. Принцип актуальной бесконечности наиболее полно, развернуто и беззастенчиво реализован именно в теории множеств Кантора. Этот принцип позволяет пользоваться бесконечным как данным, достижимым, доступным. Существенно более осторожен принцип потенциальной бесконечности, согласно которому бесконечность нам никогда не может быть дана, она не может быть представлена как заверченный объект (иначе в чем бы состояла ее бесконечность), она всегда запредельна. Но отвлекаясь от ограниченности человека во времени, в материале, в физических возможностях, эта абстракция допускает отыскание, конструирование, задание любого, сколь угодно удаленного заранее заданного объекта. Принцип потенциальной осуществимости учитывает всю неполноту возможностей человека при достижении бесконеч-

⁸ Гильберт Д. Основания геометрии. М.—Л., Огиз, 1948, с. 340.

ного. Далеко не любой заранее заданный объект достижим в соответствии с этим принципом, но лишь тот, на путь к которому хватит и времени, и сил. Бесконечное же начинается там, где кончаются человеческие возможности, где наступает царство неосуществимого, даже если это на первый взгляд совсем рядом.

Выбор того или иного принципа, вводящего в математику бесконечность, определяется общим пониманием существа этой науки, ее места и роли в человеческом познании. В свою очередь, выбор конкретного принципа существеннейшим образом влияет на оценку тех или иных математических выводов, на принятие или не принятие спорных образований, результатов и целых теорий. Но вернемся к идеям Г. Кантора.

Множества — теоретические образования, состоящие из любого, в том числе и бесконечного, числа элементов безразлично какой природы. В теории множеств Кантор говорит о бесконечном так же прямо, как и о конечном. Однако далеко не всех математиков сразу обрадовала возможность рассуждать о бесконечном как о чем-то простом и доступном, как сковородка. Еще не забыты были предостережения Гаусса, высказанные им задолго до появления канторовской теории: «Я возражаю против употребления бесконечной величины как чего-либо завершеного, что никогда не позволительно в математике».

Кантор предложил изумительно простой и кажущийся безопасным способ сравнивать бесконечные множества. Процедура пересчета, столь привычная при обращении с величинами конечными, для бесконечного, естественно, не годится: счет, начавшись, никогда не кончится, но будет продолжаться бесконечно. Однако если нужно установить, каких объектов больше: стульев вокруг накрытого стола или жаждущих занять эти стулья, вовсе не обязательно пересчитывать элементы этих множеств, но проще (и в быту мы чаще всего именно так и поступаем) аккуратно рассадить людей по одному на каждый стул. Так можно сравнить два множества, не прибегая к пересчету и не выясняя числа индивидов любого из них. Процедура эта, называемая в математике установлением взаимно-однозначного соответствия, знакома и малоцивилизованным народам,

которым она заменяет значительно более сложный счет. Послушаем свидетельство ученого, далекого от математики и ее философских проблем: «Папуас загибает один за другим пальцы руки, причем издает определенный звук, например, бе, бе, бе... Досчитав до пяти, он говорит «ибон-бе» (рука), затем загибает пальцы другой руки, снова повторяет «бе, бе, бе», пока не доходит до «самба-бе» и «самба-али» (одна нога, две ноги). Если нужно считать дальше, то папуас пользуется пальцами рук и ног кого-нибудь другого»⁹.

Первобытно ясная идея взаимно-однозначного соответствия позволяет сравнивать и бесконечное. Если между индивидами двух (бесконечных) множеств удастся установить такого рода соответствие, то сами такие множества называются равномошными. Так, множество натуральных чисел, к удивлению, оказывается равномошным другим множествам, на первый взгляд, меньшим — своим частям: множеству квадратов целых чисел, множеству кубов, множеству чисел кратных 3-м, 17-ти, 1000 и т. д. и т. п... Действительно, любому натуральному числу можно однозначно сопоставить единственное, легко установимое число из множества квадратов, кубов и т. д. (Любое натуральное число можно усадить в кресло с номером из множества квадратов, кубов...). Рациональных чисел заведомо больше, чем

1	'	2	'	3	'	...	'	a	...
1	'	4	'	9	'	...	'	a ²	...
1	'	8	'	27	'	...	'	a ³	...
3	'	6	'	9	'	...	'	3a	...
17	'	34	'	51	'	...	'	17a	...
1000	'	2000	'	3000	'	...	'	1000a	...

⁹ Миклухо Маклай. Путешествия. М.—Л., 1940, т. 1, с. 280. Любопытное и неожиданное подтверждение относительной простоты взаимно однозначного соответствия можно найти в сказке Р. Киплинга «Маугли»:

— Маленький Брат, сколько раз я говорила тебе, что Шер-Хан твой враг?

— Столько раз, сколько орехов на этой пальме,—сказал Маугли, который, само собой разумеется, не умел считать.

натуральных, но можно «рассадить» дробь на стулья с привычными номерами, а это доказывает, что и эти множества равномощны. Бесконечность оказалась такой удивительной областью, в которой целое может быть отнюдь не больше в указанном смысле своей (бесконечной же) части. Но все же не все бесконечные множества равномощны между собой. Сам Г. Кантор исключительным, новым для математики способом доказал, что множество действительных чисел (или точек на отрезке от 0 до 1) принципиально мощнее стандартного множества натуральных чисел.

Простая идейно и технически теория множеств быстрее других экстраординарных объектов завоевала популярность в среде математиков и разрасталась сама. Кроме алгебры множеств появилась теория кардинальных чисел, построенная на основе возможности сравнения бесконечных множеств.

Быстрое признание теории множеств математиками объясняется наивной простотой, идейной прозрачностью новой дисциплины. Фактически теория множеств имеет лишь один собственный символ « ϵ » — знак принадлежности элемента множеству. Так, Лев Толстой принадлежит (является элементом, индивидом, ϵ) множеству русских писателей (РП), но не принадлежит множеству четных чисел (ЧЧ). Напротив: $1248 \in \text{ЧЧ}$ и $1248 \notin \text{РП}$.

На основе центрального отношения принадлежности удалось последовательно определить все новые и новые математические отношения. И вот это-то оказалось, пожалуй, интереснейшим, наиболее обещающим свойством молодой дисциплины, в первую очередь, возбудившим к ней интерес.

Очень быстро выяснилось, что в терминах этой простейшей, как казалось, теории можно определить практически любое из математических понятий. «Число», «функция», «точка» выглядят первозданными, принципиально неопределимыми терминами. Но в теории множеств все они и другие математические понятия оказываются производными, определяемыми. Не пользуясь формулами, на простом примере покажем, что понятие «число» может быть определено в рамках теории множеств.

Пусть некий упрощенный до предела мир состоит всего из нескольких предметов: Апельсина, Разума и Солнца. Таким будет наше исходное множество. Мы специально не уточняем, сколько же именно предметов в нашем скромном мире, ведь счет, числа нам по предположению пока не известны. Мы и хотим получить первые числа в результате несложных операций и рассуждений. Демонстративно различна и природа избранных предметов. Этот пример советский логик И. И. Жегалкин предлагал, чтобы подчеркнуть абстрактность теории множеств, показать ее независимость от качественной стороны реальности (то есть с совершенно иной целью, нежели мы).

Можно предложить несколько вариантов выбора предметов из исходного множества: можно ничего не выбирать $\emptyset$, можно выбрать только Апельсин — $\{A\}$, или только Разум — $\{P\}$, или только Солнце — $\{C\}$. Можно брать сразу по нескольку предметов: $\{A, P\}$, $\{A, C\}$, $\{P, C\}$ и, наконец, можно, не ограничивая себя, взять все предметы мира сразу: $\{A, P, C\}$ ¹⁰.

Попробуем представить себе, какие выборы заинтересовали бы ту или иную науку. В этом игрушечном мире физика, видимо, выбрала бы $\{C\}$, на котором исследовала бы термодинамические и термоядерные процессы и явления, и $\{A, C\}$ — чтобы углубиться в гравитационную теорию. Химик занялся бы изучением состава $\{A\}$ и $\{C\}$. Выбрав $\{A, P\}$ и $\{P, C\}$, философ поставил бы традиционные проблемы познания. Логика и психологу достанется $\{P\}$. Многие науки не интересуются ни одним из предложенных выборов. Но стоит заменить в исходном примере любой индивид на Войну или Революцию, как найдется дело для историка. Предметы. Право или Преступление увеличат возможности юриста; Морфема или Пушкин — филолога. Для того, чтобы обеспечить занятость математика, следует подняться

¹⁰ В математической терминологии речь идет об образовании множества подмножеств данного, исходного множества. Доказано, что если само множество состоит из n элементов, то число выборов (подмножеств) этого множества равно 2^n . Те, кто не удержался и подсчитал число предметов мира в нашем простом эксперименте, могут убедиться в правоте этой теоремы, подсчитав и число приведенных возможных выборов (подмножеств).

еще на одну ступеньку по лестнице абстракций и о п р е-
делить число, так и не включая его в список исход-
ных составляющих мира.

Мы знаем множество различных выборов из предме-
тов исходного мира (множество подмножеств его инди-
видов): $\{\emptyset, \{A\}, \{P\}, \{C\}, \{A, P\}, \{A, C\}, \{P, C\}, \{A, P, C\}\}$. Из этого нового множества снова можно
произвести выборы (их общее количество равно 2^{2^n} , где
 n — число элементов начального мира. Те, кто не устает
подсчитывать, может проверить — новых подмножеств
будет довольно много 2^8 или 256). Мы не будем их пе-
реписывать, но укажем те, которыми может заинтере-
соваться математик: $\{\emptyset\}; \{\{A\}, \{P\}, \{C\}\}; \{\{A, P\}, \{A, C\}, \{P, C\}\}, \{\{A, P, C\}\}$. Эти и только эти образования от-
ложит для себя математик, потому что внутри каждого
из них можно установить любимое взаимно-однозначное
соответствие, совершенно не интересуясь тем, что в этом
сопоставлении участвуют качественно разнородные
предметы. Математик догадается обозначить каждый
из избранных объектов, например, так: $0, 0^I, 0^{II}, 0^{III}$,
где штришки под кружочками — это не более чем ма-
териальные, легко различимые метки, предметики, ко-
торые, в свою очередь, можно взаимно-однозначно
сопоставить с элементами множеств соответствующего
выбора. Проводя дальнейшее упрощение символики,
математик теперь уже может обозначить свои выборы
привычными цифрами: 0, 1, 2, 3. Таким образом, числа
появляются как особого рода множества, как множе-
ства всех равномогущих между собой мно-
жеств. Единица (1) — есть множество одиночек, двой-
ка (2) — множество всех пар и т. д.¹¹.

Завершая рассмотрение этого примера, отметим
важнейшее, но выходящее за рамки нашей темы
обстоятельство, Мир, набранный из трех предметов

¹¹ Тавтологичность последней формулировки, вообще говоря, ка-
жущаяся — естественный язык не позволяет обойтись без слов:
«одиночка», «пара» и т. д., как будто бы тесно связанных с чис-
лами 1, 2, ... Но мы видели, что при последовательном построении
нам понадобилось лишь умение производить выборы, устанавливать
взаимно однозначные соответствия между этими выборами, вводить
удобную символику и нигде при конструировании чисел нам не при-
ходилось считать.

(чего уж теперь скрывать только что приобретенное умение считать), позволил определить числа лишь до трех (включительно). Из этого следует, что если мы хотим таким же образом определить любое сколь угодно большое число, мы вынуждены постулировать, что в исходном наборе не меньшее число индивидов. Постулат этот носит не математический и не логический, а скорее космологический и даже философский характер.

Но вернемся к теории множеств. Недавний новичок математического мира недвусмысленно стал претендовать на роль объединяющей и в этом положении основной теории математики, ее фундамента, ее корня. Любая идея, любая теорема сколь угодно абстрактной ветви математического дерева могла быть сформулирована в теоретико-множественном языке. «Сегодня мы знаем, что, логически говоря, возможно вывести всю математику из единого источника теории множеств» (Н. Бурбаки).

Но это был недолгий триумф теории множеств, «математического рая», как называл Давид Гильберт. Выступая на Втором международном конгрессе математиков в 1900 г., выдающийся ученый Анри Пуанкаре сказал: «Теперь в математике остаются только целые числа и конечные или бесконечные системы (множества — *B. P.*) целых чисел ... Мы можем сказать сегодня, что достигнута абсолютная строгость». От этих слов ликования Паункаре отрекся уже через два года и настоятельно рекомендовал своим ученикам и сторонникам избегать впредь самого слова «множество»¹².

Да, праздник на улице теории множеств (и ее сторонников) был недолговечен. Теория, претендовавшая

¹² Эти известные слова А. Пуанкаре упоминаются, в частности, в книге И. Лакатоса «Доказательство и опровержение». (М., Наука, 1967). Глубокая и содержательная, эта небольшая книга написана в весьма изящном стиле. Обсуждение нетривиальных методологических проблем ведется в форме уроков математики. Наделенные незаурядными познаниями, одаренные и остроумные ученики поименованы в книге буквами греческого алфавита: Альфа, Бета, Гамма и т. д. В процессе постижения истины эти, весьма радикально настроенные ученики подвергают сомнению многие устоявшиеся истины и методы математики, оспаривают мнения корифеев этой науки. Приведенные слова А. Пуанкаре вызывают хохот (!) всех собравшихся (с. 74).

на исключительное место среди других, оказалась внутренне противоречивой. Речь идет о злейшем враге сформулированного знания — прямом формально-логическом противоречии, то есть о ситуации, предусмотренной четвертым пунктом нашей классификации.

Противоречий (парадоксов, антиномий) теории множеств выявилось немало и реакция на них была различной. Мы остановимся только на одной антиномии, опубликованной Бертраном Расселом в 1902 г. и оказавшейся наиболее убедительной.

Среди различных множеств, элементами которых могут быть индивиды любой природы, можно выделить группу нормальных множеств. Нормальное множество характеризуется тем, что не содержит себя в числе своих элементов, не принадлежит самому себе (формально: Нормально $(M) = M \notin (M)$). Большинство привычных людям множеств именно нормальны. Так, множество столов — абстрактное, но вполне разумное образование, хотя, конечно же, это не стол: на нем нельзя ни писать, ни есть. Множество городов поддается учету, но его не нельзя сыскать на карте, множество планет (скажем, Солнечной системы) не является самостоятельной 10-й планетой. Однако, исхитрившись, можно вспомнить или придумать несколько таких (не нормальных) множеств, которые включают себя в число своих элементов. Например, гипотетический список всех списков содержит всевозможные списки (свои элементы) в виде отдельных строк. Но он должен содержать и строку о себе самом: ведь он сам список и притом список всех списков. Множество всех множеств — само множество и значит содержит себя среди других своих членов. Класс всех классов, каталог всех каталогов — вот еще несколько примеров НЕНормальных множеств. Итак, НЕНормально (M) в том и только в том случае, если принадлежит самому себе: $M \in M$.

Теперь поговорим о группе (мноестве) всех нормальных множеств. В честь его изобретателя Б. Рассела назовем это новое множество R . Конструируется оно так, что любое нормальное и только нормальное множество состоит элементом R . Формально: $M \in R \equiv$ Нормально (M) или, используя определение нормальности:

$M \in R \equiv M \bar{\in} R$.

Каково же само это множество R — нормально оно или нет?

Предположим, что R — нормально ($R \bar{\in} R$). Но все нормальные множества и именно они принадлежат R . Значит R включает себя самого в число своих элементов ($R \in R$). А это как раз и означает, что R — НЕнормально.

Итак: если R — нормально, то, следовательно, оно НЕнормально. Весьма неутешительный итог.

Но, может быть, R и впрямь НЕнормально ($R \in R$). Однако по замыслу и построению все элементы R — нормальны. И как собственный элемент R выходит тоже нормально.

Итак: если R — НЕнормально, то оно нормально.

Суммируя оба рассуждения: множество R нормально в том и только в том случае, если оно НЕнормально. Образцовый пример подлинного противоречия: $R \in R \equiv \equiv R \bar{\in} R$ ¹³.

Парадоксы произвели на математиков ошеломляющее впечатление, а для некоторых обнаружение противоречий теории множеств обернулось трагически. Отстранился от творческой деятельности активный

¹³ Чтобы ситуация была ясна «не только математикам, но и их жёнам», сам Рассел и другие остроумные ученые сочинили несколько забавных вариантов этого парадокса. Приведем два таких анекдотических изложения:

1. Единственный цирюльник деревеньки обязан брить всех тех, но только тех людей, которые сами не бреются. Может ли он побрить самого себя? Если он попытается себя побрить, то выходит, что он бреется сам, а таких самобреющихся людей он как раз и не имеет права брить. Если же он брить себя не станет (значит сам не бреется), то как раз таких-то людей он и обязан брить. Следовательно, и в том случае, если цирюльник захочет себя побрить, и в том, если не будет, он нарушит данную ему инструкцию. Тяжелый случай.

2. Сказочное королевство разбито на сказочные муниципалитеты, во главе каждого из которых поставлен мэр. Оказалось, что некоторые из мэров по различным сказочным причинам не живут в своих муниципалитетах, чем создают в королевстве сказочные административные трудности. Для таких мэров и только для них король выстроил поселок со сказочными удобствами. В этом новом поселке организовали муниципалитет и избрали (или назначили) мэра. Прикиньте, где же жить этому бедному, хотя и сказочному мэру, в своем ли муниципалитете, или за его пределами?

сторонник этой теории Дедекинд. Создатель современной математической логики Готлоб Фреге (1848—1925) получил от молодого тогда Рассела письмо с изложением только что приведенной антиномии, когда сам еще находился в расцвете творчества. Фреге опубликовал мужественное и горькое признание: «Завершив свой труд, ученый обнаруживает несостоятельность исходных позиций — вряд ли можно придумать что-нибудь более нежелательное. Именно в таком положении оказался я после получения письма от м-ра Бертрана Рассела...»¹⁴ Более двадцати лет прожил после этого события плодотворный и настойчивый исследователь, не опубликовав больше ни одной работы по теме, анализу которой посвятил всю жизнь. Сам Георг Кантор более десяти последних лет жизни провел в сумасшедшем доме.

Творческие катастрофы, трагедии выдающихся ученых — верный симптом кризиса. Но и математики, работавшие в других областях этой науки и как будто бы менее причастные к происходящему, видели глобальность и опасность возникшей ситуации. Вот мнение Давида Гильберта, одного из крупнейших математиков последнего столетия: «Надо согласиться, что состояние, в котором мы сейчас находимся вследствие парадоксов, невыносимо. Только подумайте, понятия и дедуктивные методы, которые все изучают, преподают и используют в математике являющиеся образцом истины и безупречности, ведут к противоречиям! Если математическое мышление не совершенно, то где же еще искать истину и уверенность»¹⁵. А талантливый ученик Гильберта и его оппонент в вопросах философии математики Г. Вейль писал: «Всякое серьезное и искреннее размышление должно убедить нас что противоречия в некоторых частях математики следует рассматривать как симптомы неблагополучия всей этой науки, в противоречиях этих открыто выступает то, что скрывается внешне блестящим и крепким видом математического здания, — выступает именно внутренняя непрочность фундамента, на котором покоится вся постройка»¹⁶.

¹⁴ Цитировано по: Ивс Г. Ньюсом К. В. О математической логике и философии математики. М., Знание, 1968, с. 32.

¹⁵ Гильберт Д. Указ. раб., с. 349.

¹⁶ Вейль Г. О философии математики. М.—Л., 1934.

Кризис начался и он обратил внимание математиков на вечные и определяющие проблемы их науки.

Что же именно изучает математика? Какова связь математических сущностей с предметами реальности? Каков предмет математики?

Что служит критерием истинности математических утверждений? Не сведена ли она к бессодержательной игре формулами?

Может ли непротиворечивость объекта служить достаточным критерием его существования? Не обесмысливается ли математика введением такого критерия?

Что собственно представляет собой результат, полученный математиком? Открытие ли это того, что было, хотя и пребывало в безвестности, как до Колумба Америка? Или это изобретение того, чего раньше не было?

Нужны ли друг другу математика и логика или им следует остерегаться возможных точек соприкосновения?

Как включить бесконечность в теорию, содержащую лишь конечное число символов и утверждений?

Перечислены лишь некоторые из вопросов, порожденных наступившим кризисом, и можно привести аргументы в пользу того, что этот кризис самый серьезный в истории математики. В самом деле.

1. Кризис продолжается уже почти 80 лет и на сегодняшний день почти не осталось оптимистов, верящих в ближайшее и благополучное его преодоление. Можно даже заподозрить, что кризис этот станет вечным, перманентным, поскольку затрагивает определяющие вопросы этой науки.

2. Фактически все выдающиеся математики современности пытались внести свой вклад в решение возникших проблем. Если судить, например, по числу публикаций, то усилия, направленные на преодоление сформулированных проблем, значительно превосходят то напряжение, которое понадобилось для разрешения первых двух.

3. Нынешний кризис охватил не одну какую-нибудь из отраслей математики, пусть важнейшую, но потряс всю науку целиком.

4. Впервые предпосылкой возникновения кризиса послужило обнаружение логического противоречия

в математической теории, что относит сам кризис к 4-му типу по нашей классификации.

5. И, наконец, все это породило впервые в истории математики разделение представителей этой науки на противоборствующие группы по всему фронту. Для большинства математических теорий были созданы классические и неклассические, подчас весьма различные варианты (классический и конструктивный анализ, классическая и интуиционистская арифметика и т. п.).

Итак, кризис затянулся. Было предложено огромное число в разной степени общих плодотворных, остроумных выходов, ответов, решений и попыток создать единую концепцию, определяющую основы математики. Этой теме были посвящены многочисленные монографии, статьи, конференции, диспуты¹⁷. Однако орешек оказался тверд, и Г. Вейль в 1946 г. писал: «Мы меньше, чем когда-либо, уверены в первичных основах... математики. Как все и вся в мире сегодня мы переживаем «кризис». Он продолжается уже почти 50 лет. На первый взгляд он не мешает нашей ежедневной работе, однако я могу признаться, что на самом деле он оказал сильное влияние на мою математическую деятельность, он направлял мои интересы в область, казавшуюся мне относительно «безопасной», и постоянно подрывал во мне энтузиазм и решимость, необходимые для всякой исследовательской работы».

Предлагаемые решения возникших проблем нередко взаимоисключали друг друга. Не было даже согласия по вопросу о причинах возникших осложнений. Концепции относительно существа и дальнейшей судьбы всей математики оказывались прямо противоположными.

Чтобы показать глубину разногласий, приведем в самых общих словах некоторые представления только по одному, но весьма существенному вопросу. Этот вопрос касается понимания математического объекта, его отношения к реальному миру, и теснейшим образом связан со всем комплексом философских и методологических проблем.

¹⁷ Горькая ирония звучит в словах А. Пуанкаре, так охарактеризовавшего создавшуюся ситуацию: «Каковы бы ни были предлагаемые средства, мы можем утешать себя радостью врача, приглашенного наблюдать прекрасный патологический случай».

Значительная часть математиков и логиков полагает, что математические сущности, хотя и не имеют пространственно-временной определенности, в некотором смысле все же реальны. Мы уже приводили слова сторонника этой позиции Эрмита. А вот утверждение выдающегося логика современности Курта Геделя: «Признание существования таких предметов, как множество, оправдано в такой же мере, что и признание существования физических тел. Имеется столько же оснований для веры в их существование». Постоянное обиталище этих умопостигаемых, но недоступных ни одному из наших органов чувств объектов — платоновский мир чистых идей. Математик так же не свободен в своих утверждениях и выводах о свойствах интересующего его мира абстракций, как не свободен естествоиспытатель, исследующий реальность.

Согласно другой концепции, не может быть и речи о какой бы то ни было реальности математических объектов до и вне человеческого сознания. Математические образования, и прежде всего числа, существуют как «вольные творения человеческого духа» и потому как ни что другое прозрачны для творческого разума. Числа — высшее и любимое детище ума, вершина и вернейший выразитель, показатель конструктивных и изобретательских возможностей интеллекта.

Точка зрения следующей группы исследователей и, прежде всего, самих математиков, сводится к тому, что чисел нет вовсе и ни в каком смысле. Числа — это не более чем удобный и не обязательный способ говорить. На самом деле, есть лишь цифры и другие вещественные, легко различимые объекты математического символизма, математического языка. Этот язык с жестким алфавитом, предельно строгой грамматикой и аппаратом преобразований как раз и является главной заботой математики.

Противоборство мнений, упорная, часто ожесточенная борьба идей и программ, вынудила всех заинтересованных критично и ответственно исследовать самые истоки, фундамент этой удивительной науки, ясно сформулировать свое философское кредо. В ходе многолетней дискуссии и активного целенаправленного

поиска были уточнены многие понятия и методы математики. Борьба направлений, течений и мнений породила огромное число новых идей, методов и даже целых теорий.

Конечно, все это время математика продолжала развиваться, последовательно преодолевая встающие препятствия. Но, пожалуй, наиболее значительные результаты все же были достигнуты в области философии этой науки. Нередко идеи и приемы, созданные в ходе борьбы мнений для обоснования той или иной концепции оказывались прекрасными инструментами, годными в весьма далеких от математики сферах науки. Назовем лишь некоторые и имеющие общенаучное значение приобретения философии математики.

Было завершено построение центрального ядра математической логики. Это важнейший фактор в деле разработки технического аппарата методологии, в анализе структуры готового знания. Молодая и популярная кибернетика своим процветанием и даже самим фактом появления обязана развитию математической логики как необходимого и решающего условия.

В целях проведения одной из концепций обоснования математики (логицизм) была создана теория типов, наделенная мощным техническим аппаратом, для анализа областей с разнородными индивидами. Теория эта находит свое применение за пределами математики в стратификационистских теориях биологии, социологии, психологии.

В рамках конструктивистского и интуиционистского направлений в обосновании математики родились имеющие огромную силу теории рекурсивных функций, теория нормальных алгоритмов (созданная и развитая трудами советского математика А. А. Маркова и его учеников), машина Тьюринга. Значительные результаты, полученные в области вычислительной математики, явились важным фактором прогресса в области программирования.

Давидом Гильбертом и его учениками была разработана новая для математики дисциплина: теория доказательств (иначе метаматематика), задача которой состоит в критическом анализе математических методов,

постоянном профилактическом исследовании состояния всей математики в целом.

Особенности и преимущества аксиоматического способа организации научной теории в сопоставлении его с генетическим методом были определены и уточнены формалистами во главе с Гильбертом. Специфика аксиоматического построения, его общенаучный характер — темы, не теряющие актуальности и поныне.

Философские и методологические следствия ограничительных теорем К. Геделя, А. Тарского, А. Черча продолжают остро интересовать специалистов всего мира. Результаты эти, полученные несколько десятилетий назад, имеют очень высокий индекс цитирования.

Вот далеко не полный список достижений философии математики нашего века. Но и этот схематичный обзор позволяет лучше понять неожиданную на первый взгляд позицию многих математиков и философов математики, восклицающих, что, «к счастью», кризис все еще не преодолен».

Хочется закончить этот очерк словами известных специалистов в области философии математики А. А. Френкеля и И. Бар-Хиллела: «Исследование оснований математики оказалось, сверх всяких ожиданий, не только делом, которое следовало предпринять по соображениям интеллектуальной искренности или философской щепетильности, но и чрезвычайно благодарным, волнующим и полезным делом». (Основания теории множеств. М., Мир, 1966, с. 323).

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОСМОЛОГИИ

Введение. Краткий исторический обзор

Человека и человечество стали интересоваться вопросы строения окружающего мира и положения человека в нем очень давно, с незапамятных времен, с момента пробуждения его самосознания. Вначале это были очень наивные представления о том, что мир — это нечто вроде диска, круга, с опрокинутой над ним чашей (полусферой) небес. Можно сказать, что это была топоцентрическая или даже эгоцентрическая система мира (Г. М. Идлис). Однако она соответствовала первым, непосредственным впечатлениям людей, которые вели наблюдения в те далекие времена, тысячи лет назад.

Значительно позднее в древнегреческой астрономии окончательно оформляется геоцентрическая система мира, наиболее полно разработанная в трудах видного древнегреческого ученого Птолемея (II в. н. э.). Он фактически подвел итог длительного развития древнегреческой астрономии. В центре мира теперь находилась шарообразная Земля, вокруг которой обращались Солнце и планеты. Все это замыкалось сферой неподвижных звезд. Система Птолемея, неверная в своей основе, господствовала в науке и мировоззрении полтора тысячелетия.

В новое время, в эпоху Возрождения, происходит революция и в естествознании. Сначала Коперник, к 1543 г. строит гелиоцентрическую модель мира. В центре этого мира находится Солнце, а планеты, в том числе и Земля, обращаются вокруг него по круговым орбитам.

По-прежнему мир ограничен сферой «неподвижных» звезд.

Вскоре вокруг нового учения, по существу нового мировоззрения, разгорается борьба. Учение Коперника защищали такие великие мыслители, как Джордано Бруно и Галилео Галилей. Дж. Бруно пошел гораздо дальше Коперника, он по существу преодолел и гелиоцентризм. Для Бруно Вселенная бесконечна, Солнце — рядовая звезда, все тела во Вселенной движутся, в том числе и все звезды, они окружены планетами, во Вселенной существует бесчисленное множество обитаемых миров, населенных разумными существами. Религия и церковь яростно выступила против учения Коперника и его последователей. Дж. Бруно был сожжен на костре. Над Галилеем инквизиторы устроили унижительный судебный процесс. Иоганн Кеплер в 1609—1618 гг. делает следующий, чрезвычайно важный шаг. Он отказывается, наконец, от идеи о круговых движениях планет, устанавливает, что планеты движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам.

Завершил эту работу и вместе с тем положил начало новой, классической небесной механике, основанной на строгих математических законах, Исаак Ньютон, открывший закон всемирного тяготения.

В XVIII—XIX вв. наука о движении тел Солнечной системы достигла невиданных успехов. Были открыты новые большие планеты, Уран и Нептун, причем открытие Нептуна было сделано, как говорят, «на кончике пера», благодаря высокому уровню развития небесной механики.

В XVIII в. интенсивно развивалась картина мира — бесконечной Вселенной, состоящей из отдельных «островных вселенных», расположенных в бесконечном пространстве (Сведенборг, Кант, Райт, Ламберт). Немецкий философ Кант, философ и астроном Ламберт особенно подробно развили идею о структурной бесконечности Вселенной, в которой существуют системы небесных тел все более и более высоких порядков и все увеличивающейся сложности (Солнечная система и другие подобные системы, звездные скопления, затем галактики — «млечные пути» и т. д. до бесконечности).

В XVIII—XIX вв. обсуждались так называемые «фотометрический» и «гравитационный» парадоксы», связанные с представлением о бесконечно большой светимости и силе тяготения бесконечно большого числа звезд в бесконечной Вселенной.

В XX столетии было показано, что эти парадоксы успешно объясняются даже в рамках классических представлений о бесконечной Вселенной. Они полностью объясняются и в общей теории тяготения (теории относительности) А. Эйнштейна.

Проблемы современной космологии

Слово «космология» в переводе с древнегреческого означает «учение о Вселенной». Космология ставит своей задачей изучение строения и эволюции «Вселенной в целом». Правомерность такой постановки вопроса мы еще обсудим ниже.

Проблемы происхождения и развития отдельных небесных тел и их систем составляют содержание другой науки — космогонии («космос» — Вселенная, «гоне» — рождение, происхождение). Ясно, что космогония самым тесным образом связана с космологией и представляет как бы ее раздел.

В современной теории структура и эволюция всей наблюдаемой части Вселенной — Метагалактики — рассматривается в тесной связи с последующим зарождением и развитием отдельных ее составляющих — галактик, т. е. обширных звездных систем, отдельных звезд и планет. Таким образом, космология и космогония рассматривают в едином комплексе происхождение и развитие материальных объектов различных масштабов, начиная от «элементарных» частиц и атомов (происхождение химических элементов) и кончая Метагалактикой. Этим космология и космогония сегодняшнего дня заметно отличаются от науки прошлого, когда отдельные проблемы (скажем, происхождение солнечной системы) рассматривались в полном отрыве от единого процесса развития и других задач космогонии. Трудami ученых различных специальностей (космологов, астрономов-астрофизиков, физиков, геологов) развивается единая картина эволю-

ции Метагалактики и всех составляющих ее объектов, единая и во времени, начиная от «большого взрыва», вызвавшего расширение вещества Метагалактики, вплоть до настоящего времени, а затем производится экстраполяция в будущее.

Теория относительности. Работы А. Эйнштейна, А. А. Фридмана

В 1915—1916 гг. А. Эйнштейн завершил создание ОТО — общей теории относительности (теории тяготения). Теория относительности внесла много нового в постановку и решение проблем космологии. Согласно этой теории свойства пространства и так называемого четырехмерного «пространства—времени» определяются распределением масс вещества. Наличие вещества определяет меру искривленности пространства.

В 1922—1924 гг. советский математик А. А. Фридман показал, что уравнения Эйнштейна допускают нестационарные решения, согласно которым «мир», «Вселенная» либо расширяются, либо сжимаются. Возникла даже полемика между Эйнштейном и Фридманом. Вскоре Эйнштейн признал правоту Фридмана. А несколько лет спустя нестационарное решение Фридмана получило важное экспериментальное подтверждение.

Красное смещение линий в спектрах галактик

Начиная с 1912 г. американский астрофизик Слайфер проводил исследование спектров галактик. Он установил, что почти у всех галактик («туманностей») наблюдается смещение линий спектра в красную сторону. Если интерпретировать это смещение на основании эффекта Доплера, то получится, что почти все галактики удаляются от наблюдателя, «разбегаются». Формула Доплера имеет вид

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{c}.$$

Здесь λ — длина волны спектральной линии;

$\Delta\lambda$ — ее смещение (в данном случае в красную сторону);

V — скорость объекта (галактики), т. е. скорость удаления;
 c — скорость света.

Закон Хаббла. Крупнейший американский астрофизик Эдвин Хаббл определял расстояние до галактик несколькими методами. Сопоставляя эти расстояния с величиной красного смещения линий в спектрах, а следовательно, со скоростью удаления галактик, он установил в 1929 г. очень важную зависимость — скорость удаления галактик пропорциональна расстоянию до них.

Закон Хаббла в математической форме имеет вид

$$V = Hr,$$

V — скорость удаления галактики; r — расстояние до нее; H — так называемая «постоянная» Хаббла. Скорость V обычно выражают в км/с, а расстояние r — в Мпс.

1 Мпс равен 1 млн. пс, $1 \text{ пс} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км}$. Если выбрать указанные единицы измерения, то

$$H = 100 \text{ кмс}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}.$$

По последним, более точным, определениям эта величина несколько меньше, $H = 50\text{—}75 \text{ кмс}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$. В самое последнее время принимают $H = 55 \text{ кмс}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$.

В современной космологии факт разбегания галактик рассматривается как наблюдательное подтверждение нестационарного решения Фридмана, именно как расширение пространства «Вселенной».

Однако правильно будет считать, что расширяется не «Вселенная», а лишь наблюдаемая область Вселенной — наша Метагалактика. Могут существовать другие метагалактики, которые либо расширяются, либо сжимаются.

Эволюция Метагалактики

Подчеркнем, что мы будем рассматривать развитие именно Метагалактики (которую, как уже указывалось, можно приблизительно отождествить с охваченной астрономическими наблюдениями частью мира), а вовсе не «всей Вселенной», как иногда пишут. Как же, по современным воззрениям, происходила эволюция Метагалактики?

Приблизительно 15—18 млрд. лет тому назад все вещество Метагалактики находилось в очень уплотненном состоянии плотность его достигала огромных значений, порядка 10^{15} г/см³ (плотность атомного ядра), а размеры — всего около одной астрономической единицы (расстояние от Земли до Солнца). Некоторые исследователи считают, что на несколько более ранней стадии плотность была еще больше и составляла 10^{91} г/см³ (и даже 10^{93} г/см³), а размеры $\dots 10^{-2}$ см (что равно радиусу электрона). Дать описание физического состояния вещества такой плотности наука пока не может. Можно только сказать, что температура вещества в начальном состоянии была очень высокой — порядка 10 000 миллиардов градусов и более (теория «горячей Вселенной»). Итак, согласно этой теории, взрыв произошел, и вещество Метагалактики стало очень быстро расширяться, а его плотность и температура — падать. Всего за сутки (по единому космологическому времени) температура понизилась от многих миллиардов до ста миллионов градусов, а плотность — до 10^{-6} г/см³. В настоящее время, как мы знаем, вещество Метагалактики продолжает расширяться. Его средняя плотность оценивается сейчас всего в $5 \cdot 10^{-81}$ г/см³. В дальнейшем процесс эволюции Метагалактики будет определяться именно значением средней плотности ρ_0 ее вещества.

Если плотность ρ_0 больше некоторой критической плотности $\rho_{кр}$, то силы гравитации в состоянии вновь собрать все вещество Метагалактики. Расширение сменится сжатием. Если же ρ_0 меньше критической плотности, то расширение будет продолжаться неограниченно. Величину критической плотности $\rho_{кр}$ можно определить из условия равенства полной энергии взаимодействия нулю, или иначе, равенства кинетической энергии какой-либо удаляющейся галактики и ее потенциальной энергии (гравитационной энергии взаимодействия с Метагалактикой). Пусть скорость «убегания» галактики V , а ее масса m . Кинетическая энергия равна $\frac{1}{2} m V^2$, потенциальная энергия (взятая с обратным знаком) есть $\frac{GMm}{R}$, где M — масса Метагалактики, R — ее радиус, G — гравитационная постоянная.

Полная энергия C есть сумма кинетической и потенциальной энергии, т. е., $C = \frac{1}{2} m V^2 - \frac{GMm}{R} = 0$.

Тогда $\frac{1}{2} m V^2 = \frac{GMm}{R}$. (1)

Масса $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_{кр}$, согласно закону Хаббла, $V = HR$

Подставляя эти величины в формулу (1), получим

$$\frac{1}{2} m H^2 R^2 = \frac{4\pi G m R^3 \rho_{кр}}{3R},$$

откуда $\rho_{кр} = \frac{3H^2}{8\pi G}$ (2)

При $H = 100 \text{ км с}^{-1}, \text{ Мпс}^{-1}, \rho_{кр} = 2 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3$,

при $H = 75, \rho_{кр} = 10^{-29} \text{ г/см}^3$, при $H = 50, \rho_{кр} = 5 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$.

В части Метагалактики, доступной современным телескопам, среднюю плотность вещества можно принять равной $5 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3$. Эта величина получается,

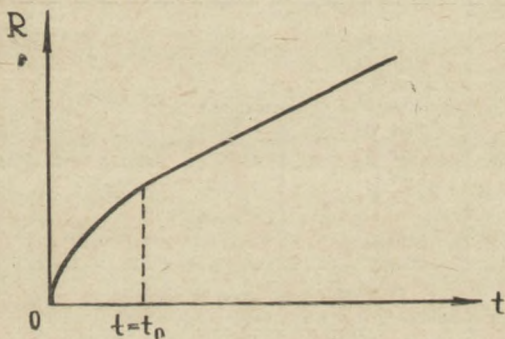


Рис. 1. Неограниченное расширение Метагалактики ($\rho_0 < \rho_{кр}$): R — ее радиус, t — время, протекшее от начала расширения, t_0 — настоящий момент

оценивается из наблюдений. Значит, в действительности имеет место случай, когда $\rho_0 < \rho_{кр}$, и раз начавшееся расширение будет продолжаться неограниченно (рис. 1). На рис. 1 R — радиус Метагалактики, t — время. Видно,

что с течением времени радиус возрастает неограниченно.

В рассмотренном случае полная энергия взаимодействия $\frac{1}{2} mV^2 - \frac{GMm}{R} = C > 0$, т. е. кинетическая энергия больше потенциальной, каждая галактика в состоянии преодолеть силы гравитации и «удалиться на бесконечность».

Представляется интересным рассмотреть и случай, когда $\rho_0 > \rho_{кр}$. Во-первых, многие исследователи (например, Эйнасто, Новиков, Озерной в СССР), считают, что значительная часть вещества Метагалактики невидима (ведутся поиски «скрытой массы»). Если «скрытая масса» (в виде темных тел, холодного газа, пыли и т. п.) значительна, то следует ее учесть. Тогда, возможно, будет $\rho_0 > \rho_{кр}$. Во-вторых, для других объектов (метегалактик) также может быть $\rho_0 > \rho_{кр}$. В случае $\rho_0 > \rho_{кр}$ расширение в определенный момент времени прекратится и сменится сжатием (рис. 2). В этом случае

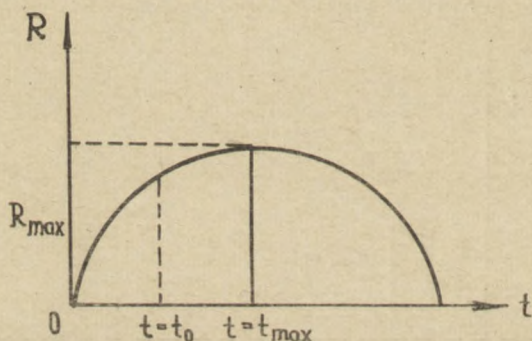


Рис. 2. Расширение Метагалактики сменяется сжатием ($\rho_0 > \rho_{кр}$): t_{max} — момент, когда радиус достигает максимального значения R_{max}

полная энергия отрицательна, потенциальная энергия больше кинетической (по абсолютной величине) и силы гравитации заставят галактики вновь сжиматься.

Радиус Метагалактики R достигнет максимального значения, а затем начнет убывать. Вполне возможно,

что во Вселенной существуют такого рода «пульсирующие» объекты, в которых расширение периодически сменяется сжатием, затем снова происходит расширение и т. д. Заметим, что в космологии рассматривают и случаи, когда $\rho_0 = \rho_{кр}$ и $\rho_0 \approx 0$ (очень мало). Тогда расширение продолжается неограниченно. По существу, это частные случаи уже рассмотренного процесса неограниченного расширения при $\rho_0 \leq \rho_{кр}$.

Космологический смысл константы Хаббла

Рассмотрим подробнее модель Метагалактики, в которой плотность вещества очень мала, $\rho_0 \ll \rho_{кр}$, $\rho_0 \approx 0$ («пустой мир»). Расширение небольших масс будет происходить практически равномерно, с постоянной скоростью (тяготением можно пренебречь). Закон Хаббла в этом случае можно записать в виде $V = \frac{R}{t} = HR$

(V — скорость равномерного расширения, а радиус Метагалактики увеличился от нуля до современного значения R). Из последнего равенства $H = \frac{1}{t}$, где t —

время, протекшее от начала расширения до настоящего момента. Видно, что в действительности «постоянная» Хаббла есть функция времени, но заметное ее изменение происходит лишь за очень большой промежуток времени (миллиарды лет). Итак, обратная

величина $\frac{1}{H} = t$ есть время, прошедшее от начала расширения. В этом и заключается космологический смысл «константы» Хаббла. $\frac{1}{H}$ имеет размерность времени.

Оценим эту величину количественно. При $H = 100 \text{ км с}^{-1}$ Мпс⁻¹ получаем $t = \frac{1}{H} = \frac{\text{Мпс с}}{100 \text{ км}} = \frac{3 \cdot 10^{19} \text{ км}}{100 \text{ км}} \text{ с} \cong$
 $\cong 3 \cdot 10^{17} \text{ с} \cong 10^{10} \text{ лет}$, т. е. 10 млрд. лет.

При $H = 50$ получим $t = 20$ млрд. лет. Наличие заметного количества вещества уменьшает время расшире-

ния. Поэтому можно считать, что «большой взрыв» произошел примерно 15—18 млрд. лет тому назад.

Учет релятивистских эффектов

Мы рассмотрели расширение Метагалактики в так называемом ньютоновом приближении, когда не учитываются релятивистские эффекты. Согласно ОТО наличие больших масс (точнее, больших плотностей) заметно меняет геометрию пространства, «искривляет» его. Для больших плотностей, когда $\rho_0 > \rho_{кр}$, пространство имеет положительную кривизну, оно, как говорят, оказывается замкнутым, имеет конечный объем, хотя нигде и ничем не ограничено. Число частиц в «замкнутом мире» конечно. Например, число протонов и нейтронов, составляющих основную массу космического вещества, оказывается равным 10^{80} частиц. Для малых плотностей ($\rho_0 \leq \rho_{кр}$) кривизна пространства отрицательна, оно бесконечно, открыто. В нем число частиц, а также звезд, галактик оказывается бесконечным. При $\rho_0 \approx 0$ пространство эвклидово, точнее, сколь угодно близко к эвклидовому.

Научно-философские проблемы

Несомненно, что вопросы, рассматриваемые космологией о структуре Вселенной, ее конечности или бесконечности в пространстве и времени, имеют самое непосредственное отношение к общефилософскому мировоззрению человека.

Многие космологи и некоторые философы считают, что фундаментальный вопрос о бесконечности Вселенной «решается» в современной космологии лишь на основе измерения средней плотности вещества, окружающего земного наблюдателя. Считается, что наблюдаемая астрономическими средствами область пространства—это и есть Вселенная (или «почти вся Вселенная»). Тогда в случае $\rho_0 < \rho_{кр}$ Вселенная пространственно бесконечна, если же $\rho_0 > \rho_{кр}$, то она пространственно конечна, хотя «нигде» и «ничем» не ограничена. Подобное мнение совершенно не имеет оснований.

Отметим вначале, что модель однородной и изотропной «Вселенной», которую мы только что рассмотрели,

всегда конечна, независимо от величины плотности ρ_0 . С момента расширения до любого другого момента всегда протекает конечный отрезок космологического времени. В пространстве такая «Вселенная» в принципе ограничена «световым горизонтом», т. е. фронтом электромагнитных волн, которые начали распространяться «почти с начала расширения» и, естественно, опережали вещество. Модель однородной и изотропной Вселенной не может с этой точки зрения объяснить наличие (в случае $\rho_0 < \rho_{кр}$) бесконечного количества галактик (вообще вещества) в бесконечном пространстве. Эта модель встречает, как известно, не преодоленные до сих пор трудности, связанные с описанием начального состояния («сингулярности»). В момент $t = 0$ получается бесконечная плотность ($\rho = \infty$), нулевой объем, бесконечная начальная скорость расширения и т. д. Ясно, что это лишь идеализированная математическая схема, которая не отражает всей сложности происходящих процессов (не учитывает квантовые эффекты и т. п.).

Но это лишь начало. На самом деле нет никаких оснований считать «всю Вселенную» однородной и изотропной, исходя лишь из того, что наблюдаемая область (множество галактик, их скоплений, скоплений скоплений (сверхскоплений) — однородно в среднем. В настоящей, действительной, бесконечной Вселенной существует качественное многообразие, о котором человеческое познание пока и не подозревает. В принципе всего многообразия Вселенной и нельзя познать. Но уже в настоящее время появился ряд работ, в которых преодолены упрощенческие концепции.

Во-первых, разрабатываются в узко специальном плане космологические модели неоднородной и анизотропной «Вселенной». Физические и математические трудности здесь очень велики, но многие из них успешно преодолены.

Появился также ряд работ обобщающего, философского характера, в которых эти «старые как вечность» мировоззренческие вопросы решаются правильно, с позиций диалектического материализма. Это работы советских философов В. И. Свидерского и А. С. Кармина, С. Т. Мелюхина, а в последнее время космологов, физиков, астрофизиков Г. М. Идлиса, М. А. Маркова,

Л. Э. Гуревича. В философских работах подчеркивается правильность материалистического понимания Вселенной — бесконечной во времени и пространстве.

В более специальных работах Идлеса, Гуревича и Маркова конкретизируется идея о множественности метagalactic, возможном бесконечном метрическом и топологическом многообразии Вселенной. В работах академика М. А. Маркова в этом плане выдвигается, например, идея о макро-микросимметрической Вселенной, вполне естественная уже с точки зрения тех физических теорий, которые существуют сегодня (общая теория относительности). Предполагается, что целые метagalactic, эти сугубо макроскопические объекты, могут иметь, с точки зрения «внешнего наблюдателя», размеры около 10^{-33} см — на много порядков меньше размеров электрона и любой известной «элементарной» частицы. Такие объекты были названы Марковым «фридмонами» в честь Фридмана. Таким образом, Вселенная не только бесконечна в метрическом смысле, она бесконечно сложна топологически и поистине неисчерпаема. Эти работы развили дальше наши представления о бесконечной Вселенной. Вселенная оказывается более сложной и «многоликой», чем она скажем, представлялась космологам-материалистам XVIII в. (построившим иерархическую модель Вселенной) и тем более древним космологам. По мере развития науки наше знание об окружающем мире будет все более обогащаться, но никогда мы не сможем познать «всю» бесконечную Вселенную во всей ее сложности и многообразии. В силу этого обстоятельства и сам процесс познания Вселенной является бесконечным неограниченным во времени и в смысле возможности совершения все новых и новых фундаментальных открытий. Исследователи, считающие, что они уже познали или почти познали основные законы Вселенной, ее структуру и эволюцию, несомненно, сталкиваются с проблемой ограниченности процесса человеческого познания, хотя не все они осознают это. Однако в некоторых работах ставятся подобные вопросы и с определенной «долей тревоги» «ищутся» возможности совершения фундаментальных открытий, например, в замкнутой конечной «Вселенной».

Подчеркнем здесь (вопреки попыткам некоторых авторов «спасти положение»), что в «замкнутой конечной Вселенной» никакой «неисчерпаемости материального мира» не существует. Эта Вселенная вполне познаваема и вполне «исчерпаема» (число «элементарных» частиц в ней и их классов — конечно и т. д.). В таком «мире» существует абсолютная, привилегированная система отсчета пространственных координат времени с центром в точке взрыва и начальным моментом времени взрыва (абсолютное космологическое время).

В действительности Вселенная бесконечна во времени и пространстве и бесконечно многообразна по своей структуре. Космология (и вообще астрономия) не есть наука о «Вселенной в целом», о «всей Вселенной». Они изучают лишь бесконечно малую область Вселенной. Поэтому науку, изучающую видимую область Вселенной (Метагалактику), следует называть не космологией а, например, «мегалогией» (от слов «**Метагалактика**» и «**учение**»). Следует также отказаться от таких выражений, как «наша Вселенная», другие «вселенные» (с маленькой буквы) и т. п. и вообще упорядочить терминологию, относящуюся к этой области знания. Вселенная одна, она «всеобъемлюща» и слово «Вселенная» (и только с большой буквы) следует оставить лишь для обозначения всего материального мира, бесконечно разнообразного, бесконечного во времени и пространстве.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ КИБЕРНЕТИКИ

Введение

Современного культурного человека отличает широта кругозора, понимание тенденций развития основных сфер деятельности общества, осмысливание этих процессов с диалектико-материалистических позиций марксизма-ленинизма. Не будет преувеличением сказать, что необходимое современному молодому человеку общее образование, наряду с остальными гуманитарными и естественными дисциплинами, должно включать и элементы кибернетики. Недалеко то время, когда кибернетика станет столь же обязательным предметом в средней школе, как физика, химия, обществоведение, биология и т. д. Уверенный в этом, я в течение двух с половиной лет вел факультативный курс кибернетики в 9—10 классах одной из школ Томска. Этот опыт убедительно показал, что старшеклассники без затруднений усваивают понятия кибернетики, воспринимают постановки задач, рассматриваемых этой наукой, а главное — у них довольно быстро развивается тот образ мышления, который сейчас принято называть системным. Это неудивительно, поскольку все остальные науки немислимы без системности. Особенность кибернетики состоит лишь в том, что если системность для других наук является методом, то для кибернетики это предмет исследования. Знание других предметов оказывается естественной основой для изучения кибернетики.

Идея прочесть студентам-гуманитариям цикл лекций о современном состоянии естественных наук

чрезвычайно привлекательна и интересна, но и трудно выполнима, когда речь идет о «математизированных» науках, к которым относится и кибернетика. Привлекает в этой идее то, что ее реализация направлена на расширение кругозора студентов, на преодоление отрицательных последствий, увы, неизбежной дифференциации наук. Кибернетике, кстати, в этом принадлежит особая роль: она по сути своей «интернаучна», так как на первой же стадии она отказывается от учета материальной специфики рассматриваемых объектов или процессов, сосредоточивая внимание не на том, физическим, химическим, экономическим или биологическим является данный объект, а на том, является ли он системой. Трудность же связана с тем, что студенты-гуманитарии в большинстве своем «не в ладах» с математикой. Чтобы как-то справиться с этой трудностью, я воспользуюсь опытом школьного преподавания кибернетики: в последующем изложении я не буду выходить за рамки «школьной» математики, да и само изложение будет рассчитано на общеобразовательный уровень знаний.

Возникновение и развитие кибернетики как объективная необходимость

Как и любое явление, кибернетика возникла по объективным причинам и развивается под воздействием объективных стимулов. Можно выделить два типа факторов, сделавших кибернетику объективно необходимой.

Первый фактор имеет экономический характер. Одна из важных особенностей общественного производства состоит в непрерывном росте его эффективности и прежде всего — в росте производительности труда. Для социалистического строя это особенно важно: как писал В. И. Ленин, «производительность труда — это в конечном счете самое важное, самое главное для победы нового строя». Этот процесс роста очень сложен и многогранен, но его итог сводится, выражается, овеществляется в развитии средств труда и методов его организации. Выделим три уровня, три способа повышения эффективности труда.

Простейший и исторически начавшийся раньше других—это уровень м е х а н и з а ц и и. Человек вооружается механизмами — от простейших приспособлений типа рычага или колеса до сложнейших машин с встроенными в них двигателями. С помощью механизмов один человек выполняет физическую работу, которую без них пришлось бы выполнять многим людям. Например, подсчитано, что если бы уровень механизации строительных работ оставался на том же уровне, что при строительстве Днепрогэса, то для сооружения электростанций только в 9-й пятилетке потребовалось бы все трудоспособное население Советского Союза.

Второй способ повышения производительности труда состоит в том, чтобы возложить на машины не только выполнение самой работы, но и стандартные операции по регулированию хода, течения процесса работы. Технические устройства, объединившие в себе эти две функции, называются автоматами, поэтому второй этап получил название этапа а в т о м а т и з а ц и и. Автоматы полностью освобождают человека от выполнения данной работы (правда, при этом человеку приходится выполнять другую работу — по созданию и обслуживанию автоматов). Автоматы могут иметь разную степень сложности и выполнять очень разнообразные работы. Всем известны автоматы для продажи газированной воды, горожане давно пользуются автоматическими телефонными станциями, уже существуют целые автоматические линии, цехи и заводы.

Очень важно понять, что автоматизировать, т. е. полностью возложить на машину, можно только те работы, которые детально изучены, подробно описаны в которых точно известно, что, в каком порядке и как надо делать в каждом случае, а главное — известны все возможные случаи и обстоятельства, в которых может оказаться автомат. Только при таких условиях можно сконструировать соответствующий автомат, и только при этих условиях он может успешно выполнять работу для которой предназначен.

Автоматизация является мощным средством повышения производительности труда; по мере уточнения, совершенствования наших знаний о тех или иных производственных процессах, они будут автоматизироваться

во все большей степени. Но сама определенность автоматов — предел повышения эффективности труда с помощью автоматизации: автомат ничего не может сделать в непредвиденной ситуации. А именно с таким положением часто приходится сталкиваться в реальной жизни, и тем чаще, чем сложнее процесс труда. Производительность предприятия, группы предприятий зависит не только от уровня их механизации и автоматизации, но и от согласованности всех этапов работы, от своевременности и правильности принимаемых решений, т. е. от того, что называется управлением.

Подчеркнем, что теперь речь идет не только о средствах труда, т. е. о механизмах и автоматах, но и о методах организации труда в непредвиденных условиях; речь идет об управлении сложными системами. Методы решения задач, которые при этом возникают, разрабатывает и совершенствует кибернетика. Для кибернетики «внешней», исходной целью является повышение эффективности человеческой деятельности в той ее части, которая связана с совершенствованием организации и управления. Эти две задачи всегда стояли перед людьми: ни один трудовой процесс не может быть эффективно осуществлен без того, чтобы его спланировать, организовать, и без того, чтобы управлять его ходом. До кибернетики эти задачи решались только мозгом человека. Подобно тому, как физика дала человеку технику и энергию, как бы усилив и продолжив его мускулы и органы чувств, так кибернетика помогает человеку усилить, расширить возможности мозга. Техническим средством для этого служат ЭВМ, и значительная часть кибернетики связана именно с ЭВМ, с их созданием и совершенствованием, с их использованием для самых разнообразных нужд. Но не менее важная часть кибернетики связана с изучением самих систем, с созданием и развитием методов организации и управления системами. Поэтому следующий за автоматизацией, более высокий третий способ повышения эффективности человеческой деятельности естественно назвать кибернетизацией.

Реализация программы нашей партии по развитию материальной базы коммунизма уже привела к тому, что

механизация, автоматизация и кибернетизация стали неотъемлемыми элементами общего процесса труда в советском обществе. Тысячи и десятки тысяч автоматических устройств и систем, многие сотни автоматизированных систем управления работают в народном хозяйстве. Кибернетические устройства и методы используются во все больших масштабах и во все большем числе областей деятельности. Кибернетика стала существенным элементом культуры.

Итак, первый фактор, определяющий возникновение и развитие кибернетики, состоит в том, что она отвечает на объективно существующую потребность в повышении эффективности общественного труда.

Второй фактор связан с объективными тенденциями человеческого познания. Противоречие между бесконечностью природы и конечностью временных, материальных, энергетических и информационных ресурсов человечества, противоречие между неограниченностью желаний человека познать мир и ограниченностью сиюминутных возможностей сделать это имеют много важных последствий, в том числе и в самом процессе познания человеком окружающего мира. Одна из таких особенностей познания, которые позволяют постепенно, поэтапно разрешать эти противоречия, — наличие аналитического и синтетического образов мышления. Суть анализа состоит в разделении целого на части, в представлении сложного в виде совокупности более простых компонент. Но чтобы познать целое, сложное, необходим и обратный процесс — синтез. Это относится и к индивидуальному мышлению, и к общечеловеческому знанию. Аналитичность человеческого знания находит свое отражение в существовании различных наук, в продолжающейся дифференциации наук, во все более глубоком изучении все более узких вопросов, каждый из которых сам по себе не менее интересен, важен и необходим.

Но столь же необходим и обратный процесс синтеза знаний. Так возникают «пограничные» науки типа биохимии, физико-химии, экологии и бионики. Но это лишь одна из форм синтеза. Другая форма синтетических знаний реализуется в виде наук о самых общих свойствах природы. К числу синтетических наук относится и

кибернетика. В ней необходимым образом объединяются технические, естественные и гуманитарные знания. Спектр рассматриваемых кибернетикой проблем охватывает как вопросы, до этого затрагиваемые лишь философской теорией познания (теория информации, теория моделей, искусственный интеллект), так и конкретные вопросы техники (теория автоматов, теория автоматического управления).

Предмет кибернетики и ее соотношение с другими науками

Датой возникновения кибернетики принято считать 1948 год, когда американский математик Норберт Винер опубликовал книгу под таким названием. Он определил кибернетику как «науку об управлении и связи в животных и машинах». Однако очень быстро стало ясно, что такое определение, сформировавшееся благодаря особому интересу Н. Винера к аналогии процессов в живых организмах и машинах, сужает сферу приложений кибернетики. Небезынтересно, отметить, что термином «кибернетика» французский ученый XVIII в. Ампер назвал в своей классификации возможных (в том числе и не существовавших в то время) наук специальную науку об управлении государством. И Ампер, и Винер при введении термина «кибернетика» взяли за основу греческое слово «кибернос», что означает «рулевой», «кормчий».

В традициях наук было принято разделять все объекты мира по качественным признакам. Прежде всего объекты делились на живые и неживые. Затем идет разделение на объекты, как бы «закрепляемые» за разными науками: поверхность Земли изучается географией, внутреннее строение Земли — геологией, макро- и микрообъекты неживой природы и их взаимодействие — физикой; фауна и флора — биологией, экономические процессы — экономикой и исторические — историей, социальные отношения — социологией и т. д. и т. п. Более того по мере развития наук, накопления фактов и совершенствования теорий происходило дальнейшее дробление («дифференциация») наук. Поэтому кибернетика

вначале привела многих ученых в замешательство: оказалось, что кибернетики берутся за рассмотрение и технических, и биологических, и социальных объектов. Возник даже спор — имеет ли кибернетика свой собственный предмет исследования. Первый международный конгресс по кибернетике (1956 г.) даже принял предложение считать кибернетику не наукой, а «искусством эффективного действия».

По мере развития кибернетики, уточнения ее понятий, разработки ее собственных методов, получения конкретных результатов в разных областях стало очевидно, что кибернетика — это самостоятельная наука со своим, характерным только для нее, предметом изучения, со своими специфическими методами исследования. Большой вклад в становление кибернетики внесли и советские ученые. В период дискуссий о сути кибернетики важную роль сыграли определения кибернетики, сформулированные А. Н. Колмогоровым и А. И. Бергом. Определение Колмогорова базируется на довольно сложном понятии информации, к которому мы подойдем позже, поэтому сейчас мы остановимся на определении Берга, которое признается весьма общим и полным: Кибернетика — это наука об оптимальном управлении сложными динамическими системами. Хотя и в этом определении необходимо разъяснить практически каждое слово (что и будет сделано ниже), из него видно, что является предметом кибернетики. Все объекты делятся на системы и «не системы», системы, в свою очередь, подразделяются на простые и сложные; кибернетика развивает методы описания и изучения сложных систем, исследует закономерности процессов, происходящих в таких системах, и все это в конечном счете направлено на то, чтобы наилучшим образом управлять такими системами.

Важно подчеркнуть, что хотя при исследовании системы на каком-то этапе придется учитывать ее конкретные свойства, для кибернетики в принципе не существенно, какова природа этой системы, т. е. является ли она физической, экономической, биологической, организационной или даже воображаемой, нереальной системой. Это окончательно проясняет место кибернетики

в ряду других наук, делает понятным, почему кибернетика «вторгается» в столь различные сферы. Если (в порядке шутки) представить себе весь мир как «булку хлеба», от которой каждая наука «отрезает себе ломоть», то, образно говоря, все науки разрезают эту булку «поперек», а кибернетика — «повдоль»: в кибернетический «ломтик» попадают объекты любой природы, как только они оказываются сложными системами. То, что кибернетические методы могут применяться к исследованию объектов, традиционно «закрепленных» за той или иной наукой, должно рассматриваться не как «постороннее вмешательство неспециалистов», а как рассмотрение этих объектов с другой точки зрения. Более того, при этом происходит взаимное обогащение кибернетики и других наук: с одной стороны, кибернетика получает возможность развивать и совершенствовать свои модели и методы, с другой — кибернетический подход к системе определенной природы может прояснить некоторые проблемы данной науки или даже выдвинуть перед ней новые проблемы.

Искусственные системы, основные модели систем

На протяжении этого и следующего разделов мы рассмотрим, как происходило развитие понятия системы, являющегося первым ключевым словом в определении кибернетики. Данный раздел преследует две цели: сформулировать (точнее, постепенно сформировать) определение системы на примере искусственных, т. е. создаваемых человеком систем, и изложить основные модели систем, с которыми (моделями) работает кибернетика (да и не только кибернетика).

Впрочем, здесь уместно заметить, что и сами определения можно рассматривать как модели: просто это модели, выраженные на естественном языке. Это даже нужно сделать, так как тогда легко понять, что существует широкий спектр (последовательность, иерархия) моделей, на «верхнем» краю которого находятся языковые модели с их присущей естественному языку расплывчатостью и одновременно содержательностью, а на «нижнем» — модели формальные, математические, отличающиеся точностью и абстрактностью. Более того,

такое понимание моделей позволяет подчеркнуть, что многоэтапный переход от содержательных моделей верхнего уровня к формальным моделям нижнего требует каждый раз новой, дополнительной, более детальной информации, более глубоких знаний о предмете. Мне кажется, что студентам-гуманитариям будет интересно узнать, что с этой точки зрения различие между двумя науками, пользующимися математикой в разной степени, следует толковать не как «превосходство» математизированной науки над описательной; это различие объясняется прежде всего тем, что описательные науки имеют дело с более сложными объектами, для построения формальных моделей которых пока не хватает людских знаний. Степень математизации науки как бы пропорциональна степени познанности предмета этой науки. Конечно, это несколько упрощенная схема, но она позволяет истолковать многие важные тенденции в развитии различных наук.

Но, как говорят французы, «вернемся к нашим баранам», т. е. к системам искусственного происхождения, создаваемым человеком. Ныне уже не только марксисты признают, что люди являются сознательными целесодействующими деятелями (см., например, статью Д. Маккея в сб.: Современные проблемы кибернетики. М., Знание, 1978). Всякий труд есть деятельность, направленная на достижение определенной цели.

«В конце процесса труда получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т. е. идеально. Человек не только изменяет форму того, что дано природой; в том, что дано природой, он осуществляет вместе с тем и свою сознательную цель, которая как закон определяет способ и характер его действий»,¹ — писал Карл Маркс.

Цели, которые ставит перед собой человек, редко бывают достижимыми за счет только его собственных природных возможностей. Ему приходится выбирать из окружающей его среды объекты, подходящие для достижения цели, соединять их; создавая при этом то, что мы будем называть системой. Другими словами, систе-

¹ Маркс К. Капитал, т. 1. См.: Маркс К., Энгельс Ф. Соч., изд. 2-е, 1960, т. 23, с. 189.

ма есть средство достижения цели. Это и есть первое определение системы.

Приведем несколько упрощенных примеров известных всем систем, предназначенных для реализации определенных целей (см. табл. 1).

Таблица 1

Цель	Система
Обеспечить безопасность государства от нападения извне	Армия
В произвольный момент указать время	Часы
Перевезти не более тонны грузов по плохим дорогам	Лошадь с телегой
Выпечь хлеб в заданном ассортименте для значительного количества людей	Пекарня или хлебозавод
Передать зрительную информацию в звуковом сопровождении на большие расстояния практически мгновенно	Телевидение
Обеспечить быстрое перемещение большого числа людей в пределах города	Городской транспорт

Попробуем теперь развить, конкретизировать языковую модель (определение) системы.

Во-первых, это определение совершенно ничего не говорит о внутреннем устройстве системы. Поэтому систему можно изобразить в виде некоторого «ящика», выделенного из окружающей среды (рис. 1). Тем самым подчеркивается только целостность системы и ее обособленность от среды. Однако, этот «ящик», хотя и обособлен, выделен из среды, не является изолированным от нее. Ведь достигнутая цель — это какие-то запланированные ранее изменения в окружающей среде, это какие-то продукты системы, предназначенные для потребления вне системы. Связи системы со средой изображаются стрелками, направленными от системы в среду, и называются вы-

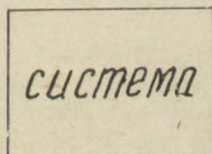


Рис. 1

ходами системы (см. рис. 2). Каковы конкретно желаемые выходы системы, зависит от поставленной цели; так что выходы на графической модели системы соответствуют слову «цель» в словесной модели (конструктивном определении) системы.

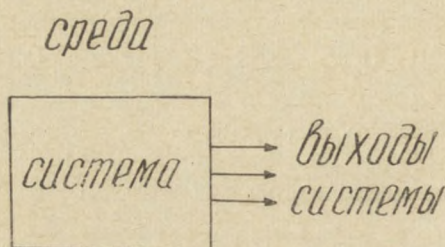


Рис. 2

Рассмотрим пример системы «наручные часы». Выходами этой системы являются: а) показание времени с достаточной для бытовых нужд точностью; б) удовлетворение требования легкости прочтения показаний часов при беглом взгляде на них; в) соответствие моде и понятию красоты; г) удобство ношения часов на запястье, д) удовлетворение требований санитарии и гигиены; е) достаточная в бытовых условиях прочность, пыле- и влагонепроницаемость. И это еще не все выходы данной системы.

Таким образом, перечисление выходов системы является первым шагом к конкретизации цели. Бросается в глаза тот факт, что одной цели может соответствовать много выходов. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, цель всегда носит комплексный характер, выражается как совокупность желаемых свойств продукта системы. В случае наручных часов нам нужно не только указание времени, но и возможность ношения часов на руке, и многое другое (см. пример выше). В случае пассажирского самолета нам нужно не только, чтобы он летал, но и обеспечивал необходимый комфорт и безопасность пассажиров, и чтобы он не создавал слишком сильного шума при полете над населенными пунктами и не требовал слишком длинных взлетно-посадочных полос и т. д. и т. п. По-

этому в состав цели входит не только основная, но и дополнительные цели. Важно подчеркнуть, что выполнения только основной цели недостаточно, что невыполнение дополнительных целей может сделать ненужным или даже вредным и опасным достижение основной цели. Мы еще вернемся к этому моменту.

Вторая причина множественности выходов состоит в том, что всякая реальная система, как и любой объект, обладает бесконечным числом свойств, воздействует на окружающую среду бесчисленными способами, а мы выделяем из них только конечное число связей, только те, которые нужны нам, которые мы считаем существенными с точки зрения рассматриваемой цели. Тот факт, что мы не учитываем, исключаем из рассмотрения остальные связи, не лишает их реальности, они все равно действуют независимо от нас. И нередко оказывается, что то, что мы считаем несущественным или то, чего мы попросту не знали, на самом деле является важным и должно быть учтено.

Пример. Было время, когда к наручным часам предъявили требование свечения цифр и стрелок в темноте. Эта дополнительная цель была достигнута с помощью применения фосфоресцирующей краски. Впоследствии оказалось, что при этом кроме полезного эффекта возникают вредные для здоровья излучения. Сейчас после долгого перерыва вновь появились светящиеся часы: найдены безвредные светящиеся материалы.

Кроме выходных связей, описывающих влияние системы на среду, имеется, конечно, и влияние среды на систему. В определении системы это отражено тем, что она рассматривается как средство, которым пользуется кто-то вне системы. Уже это указывает на существование связи, направленной извне в систему. Эту связь изобразим стрелкой и назовем ее входом системы. Конечно, как и в случае выходов, существуют входы не только от того, кто использует систему, но и от других объектов и систем. Если учесть их, то и входов у системы может быть несколько (рис. 3).

Пример. Входы телевизора: а) антенна, б) шнур электропитания, в) выключатель, г) ручки управления и настройки.

Теперь мы готовы к тому, чтобы завершить описание системы на уровне ее входов и выходов (рис. 4). Такая модель системы и получила название «черного ящика». «Черным» он назван для того, чтобы образно подчеркнуть отсутствие описания внутреннего содержания «ящика».

Модель «черного ящика» часто оказывается не только очень полезной, но в ряде случаев единственно при-

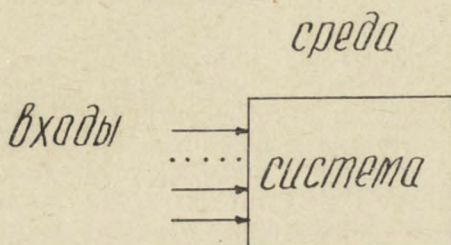


Рис. 3

менимой при изучении систем. Например, если мы хотим изучить психику человека или влияние лекарства на живой организм, то мы лишены возможности вмешательства в систему иначе, как только через ее входы, и выводы будем делать только на основании наблюде-

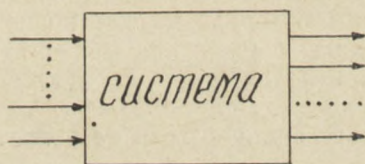


Рис. 4

ния за ее выходами. Это вообще относится к тем исследованиям, где нужно получить данные о системе в обычной для нее обстановке, где надо специально заботиться о том, чтобы наши измерения как можно меньше изменяли саму систему. Поэтому ученые часто сознательно ограничиваются уровнем «черного ящика» для описания исследуемых ими объектов и систем.

Вполне очевидно, что для решения многих вопросов, возникающих при изучении, использовании, а тем более при построении систем одной модели «черного ящика», будет недостаточно. Во многих случаях мало описать систему только извне, нужно еще «просветлить» «черный ящик», ответить, из чего состоит и как устроена система.

Целостность обособленность любой системы, отображаемые моделью «черного ящика», выступают как внешние свойства системы. Как только мы заглянем внутрь системы, первое, что обнаруживается,— это неоднородность внутренности «черного ящика», наличие составных частей. Более того, некоторые части системы в свою очередь состоят из частей. Те части си-

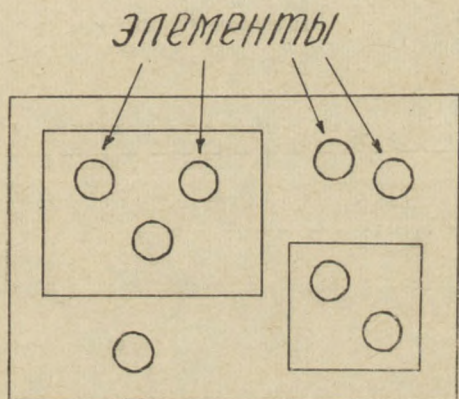


Рис. 5

стемы, которые мы рассматриваем как неделимые, будем называть элементами системы. Выделенные в системе более крупные части, состоящие более чем из одного элемента, назовем подсистемами.

Теперь у нас сформировалась модель состава системы, описывающая, из каких элементов она состоит (рис. 5). Приведем упрощенные примеры моделей состава системы (см. табл. 2).

Построение модели состава системы только на первый взгляд кажется простым делом. При определении

состава одной и той же системы разные эксперты, т. е. люди, знающие систему, обычно дают различающиеся модели. Причина этого лежит не только в том, что степень знания системы у них различна. Укажем еще три важные причины.

Таблица 2

Система	Состав системы
Система телевидения «Орбита»	Центральная телестудия Антенно-передающий центр Среда распространения радиоволн Спутники-ретрансляторы Местные телецентры Телевизоры потребителей
Семья	Муж и жена Дети Родственники мужа и жены Общее жилье и хозяйство Личная собственность членов семьи
Отопительная система жилого дома	Источники тепла Устройства для распределения и доставки носителя тепла в помещения (трубы, вентили) Устройства для выделения тепла (батареи-калориферы)
Трамвайный транспорт	Служба эксплуатации и ремонта Трамваи Рельсовые пути Подсистема электрообеспечения Технические службы Рабочие, обслуживающий персонал, служащие, инженерно-технические работники

Во первых, разные модели состава будут появляться из-за того, что можно по-разному определить понятие элементарности. То, что с одной точки зрения является элементом, с другой — оказывается подсистемой.

Вторая причина появления различных моделей состава системы лежит в том, что такая модель строится не «просто так», а для того, чтобы ею пользоваться. Для разных целей использования модели могут потребоваться разные модели состава. Цель построения модели определяется тем, кто ею будет пользоваться.

Попробуйте определить состав автомобиля с точки зрения шофера и пассажира, состав самолета с точки зрения летчика, стюардессы, пассажира и аэродромного заправщика горючим.

Третья причина различия моделей состава заключается в том, что всякое разделение целого, всякое деление системы на подсистемы, является относительным, в определенной степени условным.

Это относится и к выделению самой системы из среды. В качестве примера рассмотрим систему «часы». Какую бы природу ни имели те устройства, которые мы называем часами, в них можно выделить две подсистемы: 1) датчик времени — т. е. некоторый процесс, течение которого изображает течение времени (это может быть равномерное раскручивание пружины, электрический ток с постоянным расходом энергии, равномерное течение струйки песка и т. д.); 2) индикатор времени — т. е. устройство преобразующее, отображающие состояние датчика в цифры. На этом можно считать модель состава часов исчерпанной (если не идти на дальнейшее разбиение этих подсистем). Однако если даже в какой-то момент установить все часы на одинаковые показания, а затем представить их самим себе, то через некоторое время они начнут давать разные показания. Это вызвано тем, что фактически каждые часы показывают состояние своего датчика. Нам же на самом деле нужно не это, а указание общего для всех времени. Это достигается путем синхронизации всех часов с некоторым эталоном времени, например, с помощью сигналов точного времени, передаваемых по радио. Вот тут-то и возникает вопрос — включать ли эталон времени в состав часов как системы или рассматривать обычные часы как подсистему в общей системе указания времени.

Другой пример — человек как личность, т. е. носитель культуры. Кажется «естественным» рассматривать

отдельного человека как систему. Однако личность человека формируется не им самим. Например, известны случаи, происходившие в тропических странах, когда по некоторым причинам малолетние дети вырастали в среде животных (почему-то чаще всего ими оказывались волки), и когда через несколько лет такой ребенок вновь попадал к людям, стать человеком в полном смысле этого слова он уже не мог. Снова встает вопрос: когда мы говорим о системе «личность», то следует ли отдельного человека рассматривать как эту систему, или считать, что система «личность» охватывает нечто большее, и отдельный человек в ней есть лишь подсистема?

Третий пример возьмем из экономики. Некоторые ученые прошлого века пытались установить экономические закономерности, рассматривая модель хозяйства, подобную тому, которое имел Робинзон Крузо на необитаемом острове. Карл Маркс указал, что такая модель не имеет отношения к реальной экономике, что для изучения реальных экономических систем нужна более развитая, более сложная модель хозяйства, в том числе — более сложная по составу.

Наконец, четвертый пример. Предположим, мы хотим определить пространственную границу системы «завод». На первый взгляд, удобно провести ее по границе территории: взять забор, окружающий завод, и определить, что все то, что внутри него, — это «завод», а все остальное — «среда». Но как быть с заводским грузовиком, который выехал с завода? Считать его после этого элементом системы или нет? А как поступить с ближайшей улицей, если городские власти поручили заводу постоянно следить за ее благоустройством? Ведь после этого улица тоже в определенном отношении становится территориальным элементом завода.

Подведем итог. Модель состава системы (как и всякая модель) всегда конечна — человек просто не в состоянии иметь дело с бесконечными моделями. Снизу эта модель ограничивается тем, что мы считаем элементом, сверху — тем, что мы считаем границей системы. Обе эти границы, как и вся модель в целом, определяются с некоторой целью, и разные цели приведут к разным границам. Значит ли это, что система нереаль-

на? Нет, не значит. Это означает лишь, что, выделяя систему, мы рассматриваем бесконечно сложный реальный мир с определенной точки зрения, в каком-то одном отношении — а именно, в том отношении, которое необходимо нам для достижения цели. Реальные объекты образуют систему, целенаправленно изменяющую реальный мир, и наши модели системы помогут нам достичь цели лишь в той степени, в которой они правильно отражают реальный мир.

Иногда моделей «черного ящика» и состава достаточно для получения нужных выводов. Но многие вопросы не могут быть решены только с помощью этих моделей. Очевидно, например, что для того, чтобы система работала, недостаточно иметь только состав системы, т. е. все ее элементы. Нужно еще правильно соединить эти элементы между собой, установить между элементами определенные связи или отношения. Совокупность отношений между элементами, необходимых и достаточных для достижения цели, называется структурой системы.

Бесконечность природы проявляется и в том, что реальные объекты, вовлеченные в систему, находятся в бесчисленном количестве отношений друг с другом. Однако, когда мы рассматриваем систему, то из всех отношений важными, существенными для достижения цели являются лишь некоторые. Поэтому в модель структуры (т. е. в список отношений) включается только конечное число связей.

Например, при расчете любого механизма не учитываются силы взаимного притяжения его частей, хотя согласно закону взаимного тяготения такие силы объективно существуют. Зато вес каждой части, т. е. сила ее взаимного притяжения с Землей, учитывается обязательно. Структура же механической системы определяется взаимным положением ее элементов (т. е. пространственными отношениями) и возможностями их относительного движения (одна деталь может поворачиваться, вращаться, перемещаться относительно другой, и это — тоже отношение между деталями).

Отношения между элементами могут быть самыми разнообразными. Можно, однако, попытаться как-то перечислить их, по возможности, разделить на классы

возможные отношения. Трудность состоит в том, что в принципе число отношений неограничено и не все реально существующие отношения нам известны. Один способ выявления и классификации отношений состоит в том, чтобы проанализировать словарный запас современного человеческого языка и выделить из него слова и словосочетания, выражающие отношения. Такая работа была проделана для английского, итальянского и русского языков. Оказалось, что число различных отношений, выражаемых в языке, примерно равно 200.

Внутренняя целостность и новые качества систем

Очень важно понимать, что система является не просто обособленной от окружающей среды частью мира, что она обладает не только внешней целостностью, которая подчеркивается моделью «черного ящика», но и имеет внутреннюю целостность. Под внутренней целостностью понимается та особенность систем, что они не есть просто совокупность входящих в нее элементов, что свойства системы не есть только сумма свойств ее составных частей. Система есть нечто большее, система в целом обладает такими свойствами, которых нет ни у одной из ее частей, взятой в отдельности.

Конечно, внутренняя целостность системы уже отражена в модели структуры системы. Эта модель подчеркивает связанность элементов в единое целое. Здесь же мы хотим подчеркнуть, что при объединении частей в целое возникает нечто качественно новое, такое, что не было и не могло быть без этого объединения.

Представьте себе, что у вас есть один камень. А теперь вообразите, что их два. Налицо количественное изменение. Но объединив их, рассматривая их в совокупности, вы можете обнаружить и новые качества, новые свойства. Например, двумя камнями можно высечь искру, издавать стук, расколоть орех, растереть зерна в муку, расплющить металлический предмет, и т. п.

Пример. Пусть имеется некоторый автомат А, который преобразует целые числа следующим образом: если на его вход подать число n , на выходе появляется число $n+1$ (рис. 6). Возьмем два таких автомата и соединим их последовательно в кольцо (рис. 7). Создан-

ная система обладает новыми свойствами: 1) она генерирует возрастающие последовательности чисел B и C ; 2) одна из этих последовательностей состоит только из четных чисел, другая — только из нечетных.

Какие бы удивительные свойства не возникали при объединении элементов в систему, ничего мистического

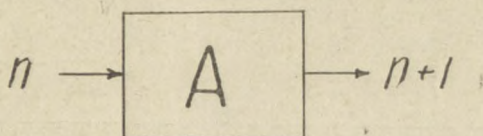


Рис. 6

взявшегося «ниоткуда», здесь нет: новые свойства возникают за счет конкретных связей между конкретными элементами. Именно на этом основаны некоторые изобретения: новые, ранее не известные соединения известных элементов, обладающие новыми полезными свойствами, признаются патентноспособными.

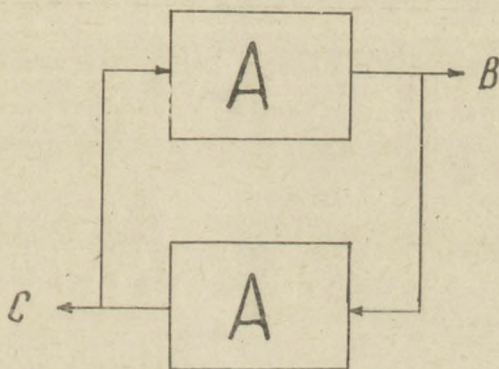


Рис. 7

В заключение заметим, что обсужденное нами явление возникновения качественно новых свойств при объединении элементов в систему есть частное, но яркое проявление всеобщего закона диалектического материализма, который назван законом перехода количества в качество.

В итоге, объединяя все сказанное выше, мы можем дать иное определение системы: система есть совокупность взаимосвязанных элементов.

Системы и естественные объекты

Дескриптивное определение системы гласит, что система есть совокупность взаимосвязанных элементов. Вполне понятное, когда речь идет о системах, созданных человеком, это определение выдвигает сложные вопросы, когда мы применяем его к естественно структурированным объектам. Как красиво и правильно растут кристаллы! Как стройна наша солнечная система! Как целесообразно устроены живые организмы! В таких объектах можно найти элементы, можно установить, как они связаны между собой — и тем самым найти в них все признаки системы по второму определению. В таком случае мы вынуждены вернуться к первому определению и поставить вопрос — на какие цели направлена деятельность этих систем, и если такие цели существуют, то откуда они взялись?

На ранней стадии развития общественного сознания стройность и целесообразность природы пытались «объяснить» сравнительно просто — допустив наличие некоторого «внечеловеческого» разума. Это и было одной из причин возникновения различных религий, расхождения между которыми сводятся в основном к тому, где разместить этот «всезнающий и всемогущий» разум и какие намерения ему приписать. Нас не устраивает такая гипотеза не только потому, что ее принятие приводит к ряду отрицательных общественных последствий (побуждение людей к пассивному подчинению «воле всевышнего», протаскивание интересов реакционных классов под прикрытием религии, отрицание или ограничение возможностей науки в познании мира, и т. д.), но и потому, что эта гипотеза не отвечает на наш вопрос по существу. Ведь предполагаемый «сверхестественный» разум — тоже система, но тогда — кто, в свою очередь, «создал» эту систему, и откуда она черпает свои цели?

Наука не нуждается в гипотезе о существовании бога. Противоречие, которое у нас возникло, произошло из-за того, что мы сначала абсолютизировали второе определение системы (назвали все, что состоит из взаимосвязанных элементов, системой), а затем вспомнили, что всякая система, есть средство достижения цели. Это — логическая ошибка, такая же, как и в следующем рассуждении: «Всякий человек имеет четыре конечности, туловище и голову. Следовательно, всякое существо с четырьмя конечностями, туловищем и головой есть человек».

Попробуем последовательно придерживаться нашей точки зрения. Во-первых, мы признаем первое и второе определения системы, во-вторых, мы признаем, что окружающий нас мир состоит из структурированных объектов, имеющих связанные между собой части. Следовательно, всякая система есть объект, но не всякий объект есть система.

Пример. Лес — это объект. Но лишь до тех пор, пока мы не начнем использовать его свойства в наших целях. Например, при постройке нового города на лесистой территории часть леса в черте города сохранили в целях, поставленных проектировщиками, теперь эта часть леса входит в систему «город». Или: леспромхозу отвели новый участок леса для разработки. С этого момента этот участок становится элементом системы «леспромхоз».

У леса нет «целей» украсить город или обеспечить его хорошим микроклиматом, представить леспромхозу возможность выполнить план или снабдить вас грибами. У леса есть только свойства, зная и используя которые, все эти системы могут достичь своих целей. У леса есть еще очень много (бесконечно много!) свойств, которые потенциально могут быть использованы для создания систем, будучи познанными. Понятно, что это рассуждение применимо к любому объекту.

Достоинством такого подхода является то, что он подчеркивает, что если человек и может добиться любой цели, то не любым образом. Законы природы (обобщенное выражение свойств объектов) нельзя нарушить, их можно только использовать. Мы намечаем конечный пункт (цель), но пути к нему определяет при-

рода. Достичь нашей цели мы можем только соподчиняя, организуя, используя естественные свойства объектов. Недостижимы только цели, противоречащие объективным природным условиям. Утверждая это, мы, однако, не должны путать действительно объективные условия и то, что мы о них знаем на современном этапе.

Пример. Мы знаем, что из закона сохранения энергии следует невозможность вечного двигателя, т. е. системы, дающей на выходе энергию и не имеющей на входе ничего. Поэтому цель создать вечный двигатель недостижима.

Пример. Достижима ли цель создания мыслящей машины? Мы не знаем законов природы, которые запрещали бы это. Конечно, отсюда еще не следует, что это возможно, но поиски кибернетиков, по крайней мере, не выглядят напрасными.

Итак, для того, чтобы у нас не возникло путаницы между системами и «не-системами», мы должны объединить оба определения системы: первое дает нам необходимое условие существования системы (это условие — наличие цели), второе характеризует достаточное условие: структурированность и организованность в единое целое всех составных частей системы.

Искусственные и естественные системы

Из сказанного в предыдущем параграфе следует, что можно рассматривать структурированные объекты, созданные с известной целью, как системы, а все остальные объекты — как «не-системы», как объекты с известными и (или) неизвестными свойствами. Однако отсюда не следует, что только так и нужно делать всегда.

Во-первых, осознанные цели может ставить не только отдельный человек, но и группы людей, и общество в целом. Так и происходит в действительности, и под групповые цели тоже создаются системы (например, системы, дающей на выходе энергию и не имеющей на живания, производства и т. д.). Во-вторых, очевидно, что если нам неизвестна цель, достижению которой служит система, то это не означает, что данный объект

перестал быть системой (представьте себе, например, что перед вами некоторый прибор, назначение которого вам неизвестно).

Таким образом, мы делаем первый шаг к обобщению: признаем, что могут существовать системы с неизвестными нам целями и (или) устройством. В таком случае возникает задача их изучения, и понятно, что сам-подход и некоторые методы изучения будут существенно отличаться от тех, которые применяются при изучении обычных объектов: нам ведь нужно прежде всего познать данный объект как систему, выявить ее назначение (цель) или способ действия.

Создание специальных методов для исследования систем является одной из важных задач кибернетики. Ряд таких методов уже создан (и мы в дальнейшем познакомимся с ними), другие методы еще только разрабатываются и совершенствуются, третьи еще ждут своих создателей. Раз уже такие методы есть, то почему бы не применить их к исследованию сложных объектов, существующих независимо от человека, не созданных людьми? Почему бы, например, не изучать растения как системы, почему бы не считать «настоящими» системами нервную систему, сердечно-сосудистую систему человека, муравейник, или лес, или всех животных в данном лесу? Более того, уже сейчас стало ясно, что, например, без подхода к мозгу как к сложной системе нельзя продвинуться достаточно далеко на пути к познанию того, как же мы мыслим. Если такой подход практически полезен (а это так и есть), то отказываться от него вредно. Поэтому мы приходим к тому, чтобы сделать второй шаг — признать, что существуют искусственные (т. е. созданные человеком) и естественные (т. е. возникшие в природе без участия человека) системы. Полезность такого шага видна хотя бы из того, что именно на этом пути возникли такие науки, как экология, бионика, биокибернетика, нейрокибернетика, исследующие естественные системы в различных аспектах.

Признав существование естественных систем, мы не должны противоречить сами себе в вопросе о целях систем. Мы теперь должны расширить понятие цели так, чтобы оно охватывало и наше предыдущее понятие цели искусственной системы, и определяло цель естест-

венной системы, и указывало, в чем их общность и различие.

Цель искусственной системы определялась нами как идеальный образ желаемого результата ее деятельности, т. е. как образ того, что должно бы быть, должно бы осуществиться. (Мы здесь вставили частицу *бы* подчеркивая тот факт, что есть цели осуществимые, а есть неосуществимые). Такой идеальный образ будущего состояния системы и окружающей ее среды естественно назвать субъективной целью. Представим себе теперь, что прошел срок, который мы отвели для реализации субъективной цели; система и непосредственно окружающая ее среда оказывалась в некотором реализовавшемся состоянии. В это состояние система пришла объективно, т. е. в результате реализации объективных закономерностей. По отношению к тому прошлому моменту, когда мы еще только планировали результат, это состояние можно назвать объективной целью системы. Другими словами, будущее реальное состояние системы мы представляем себе как ее объективную цель. В этом и состоит наше обобщение; мы теперь можем рассматривать субъективные и объективные цели системы, т. е. те, которые ставит человек, и те, которые реализует природа.

А теперь уж совсем просто сделать шаг к тому, чтобы признать, что у естественных неодушевленных систем есть только объективные цели. Остается только трудность с животными, но трудность эта не принципиальная, а вызвана недостаточностью наших знаний о степени абстракции, до которой могут доходить животные, и о нашем собственном мышлении: пока что далеко не всегда мы можем определить, где кончается поведение живых систем на уровне инстинктов и генетически определенных программ, а где начинается поведение на основе абстрактных моделей, которые уже можно назвать идеальными. Это еще одна из интересных проблем которые будут решаться многими науками, в том числе и кибернетикой.

Итак, мы пришли к пониманию того, что любой объект может рассматриваться как система, но это означает, что мы рассматриваем этот объект под опреде-

ленным углом зрения, т. е. только в определенном отношении, а именно — в отношении к цели.

Разделение всех систем на искусственные и естественные является первым шагом в классификации систем. Классификация всегда помогает уточнить понятия, подчеркнуть различия, т. е. более правильно и гибко мыслить (следует только помнить, что классификация не должна возводиться в абсолютизм, так как это — одна из моделей реальности, а реальность всегда сложнее модели).

Сделаем следующий шаг классификации. Естественные системы обычно разделяют на живые и неживые (хотя уже и здесь имеются споры о том, отнести ли, например, вирусы к тем или иным). Трудности дальнейшей классификации живых систем мы уже обсудили. Человек, очевидно, относится к системам, действующим на основании как генетических, так и абстрактных моделей; все известные свойства растений и насекомых объяснимы только генетическими программами. Где лежит грань между мыслящими и немслящими существами — пока неясно. Те, кто отсекает этой гранью человека от животных, испытывают затруднения в объяснении поведения некоторых (и не только человекообразных) животных.

Классификация искусственных, т. е. созданных человеком, систем также в некотором смысле условна. Например, по степени участия человека в системах мы можем разделить искусственные системы на автоматические (без участия человека), полуавтоматические (в которых человек участвует в чисто служебной роли, только потому, что эту роль экономически невыгодно возлагать на автомат), автоматизированные (в которых механизмы и автоматы замкнуты на человека или коллектив людей, которые и определяют цели системы) и организационные (где на первый план выступают отношения между людьми). Конечно, возможны и другие классификации искусственных систем.

О динамических моделях систем и оптимальном управлении

До сих пор наше внимание было сосредоточено на том, что такое система, из чего она состоит, как она устроена. Отвечая на эти вопросы, мы построили модели, которые являются как бы «фотографиями» системы, отображают в некоторый фиксированный момент времени. В этом смысле рассмотренные нами варианты моделей «черного ящика», состава, структуры и их объединения могут быть названы статическими моделями, что подчеркивает их неподвижный, как бы застывший характер.

Следующий шаг в исследовании систем состоит в том, чтобы понять и описать, как система работает, какие процессы происходят в самой системе и в окружающей среде в ходе реализации цели. Очевидно, и подходы к описанию, и степень подробности описания этих процессов могут быть разными. Однако общим при этом будет то, что разрабатываемые модели будут отражать поведение систем, описывать временные изменения или последовательность этапов, операций, действий, а в нужных случаях — и причинно-следственные связи. Системы, изменяющиеся во времени в любом отношении (начиная с простых изменений параметров и кончая изменениями состава и (или) структуры), называются динамическими системами, а модели, отображающие эти изменения, — динамическими моделями систем².

Для разных объектов и систем разработано большое количество динамических моделей, описывающих про-

² Сделаем два методических замечания. Во-первых, следует иметь в виду, что слово «динамический» сильно перегружено в русском языке, т. е. употребляется в нескольких смыслах. Например, при изучении механики в курсе физики различают кинематику и динамику материальной точки. В нашем же изложении слово «динамический» употребляется шире, оно не только покрывает оба эти понятия, но обозначает любые изменения во времени. Во-вторых, понятие «динамическая модель» в кибернетике включает в себя свойство физической реализуемости модели, т. е. подразумевает, что никакая реакция системы на стимул не может начаться раньше самого стимула. Все реальные системы по природе своей являются динамическими в этом смысле, но оговорить это необходимо, так как не любая теоретическая модель может оказаться физически реализуемой.

цессы с различной степенью детальности. Начиная с самой общей, пригодной для любых процессов (а потому неконкретной) модели—понятия движения как изменения вообще, постепенно уточняя ее, учитывая те или иные особенности конкретного движения, можно дойти до формальных, математических моделей (например, до уравнений движения в механике, волновых уравнений в теории поля и т. д.). Этот путь, однако, не прост и нелегок и для многих систем еще не пройден. Дело в том, что модели выражают в сжатой, концентрированной форме наши знания о данном виде движения, а эти знания, естественно, ограничены, иногда настолько, что их не хватает для построения достаточно точной модели. Выше я уже подчеркивал, что именно с таким положением мы встречаемся в описательных науках, как сугубо гуманитарных (например, искусствоведении, психологии или социологии), так и более конкретных (скажем, в экономике, биологии, геологии). В таких случаях нам остается пользоваться в практике теми моделями, которые имеются у нас сегодня, а для завтрашнего создания новых, более совершенных моделей—добывать новые знания, изучая интересующие нас реальные процессы, выдвигая и проверяя новые гипотезы (т. е. опять же модели).

В этой связи уместно обсудить здесь вкратце вопрос об одном из слабо развитых, но широко известных аспектов кибернетического моделирования—о моделировании творческих процессов (анализ и синтез музыки, графики, стихов, перевод с одного языка на другой и т. п.). Критики этого направления с некоторым злорадством указывают на примитивность полученных результатов, на тупики, в которые зашли некоторые исследования. На наш взгляд, затруднения, с которыми встретились здесь кибернетики, говорят не о том, что неверна сама постановка проблем, и тем более не о том, что творческие процессы в принципе непознаваемы; дело скорее в том, что формальные модели творчества, которые построены в настоящее время, недостаточно полны, слишком упрощены, главным образом потому, что для построения достаточно адекватных моделей пока не хватает знаний о творческих процессах. Но даже неудачи дают продвижение вперед: резкое усиление лингвист-

тических и музыковедческих исследований в последние годы в значительной мере было вызвано именно затруднениями в области искусственного интеллекта. Заметно возросло также число публикаций по психологии математического и художественного творчества. Все это, надо полагать, позволит в ближайшем будущем сделать дальнейшие шаги в познании (и в моделировании!) процессов творчества. Зачем это нужно? Человек познает мир и самого себя в том числе, сомнения, неудачи и ошибки при этом неизбежны, а запреты — бесполезны и бессмысленны (и нередко просто вредны)³.

Вернемся, однако, к рассмотрению динамических моделей. Конкретных моделей, связывающих входные воздействия $x(t)$ (x — вектор, t — время) с выходными реакциями $y(t)$, очень много, и они чрезвычайно разнообразны. Не буду утомлять вас обсуждением того, что именно означают наборы параметров x и y , почему именно такие-то, а не другие параметры измеряются, как именно измеряются эти параметры, как они связываются в математическую модель, какие именно модели бывают и как проверяется адекватность модели. Отмечу только, что ответы на эти простые вопросы далеко не просты, и составляют содержание достаточно глубоких теоретических построений, таких, как теория измерения и теория моделей.

Перейду сразу к очень сжатому изложению одной из центральных идей кибернетики — идеи оптимальности. Само слово «оптимальный» означает «наилучший в заданных условиях». Конкретизируем это определение на примере управления простой малой системой. (Система называется простой, если мы располагаем

³ И все же, раз уж мы затронули эту тему, необходимо подчеркнуть что бывают обстоятельства, когда временные запреты на некоторые научные исследования вытекают из этики, морали или политики. Так было с учеными-атомщиками в капиталистических странах в первые годы второй мировой войны, когда они сознательно сдерживали исследования, чтобы не дать в руки Гитлеру атомную бомбу; известен случай отказа крупного ученого от дальнейших исследований в области генной инженерии из-за опасений их использования буржуазией в антигуманных целях; именно этим вызван запрет исследований по совершенствованию средств массового уничтожения и по управлению природными явлениями в военных целях, которого добивается советская дипломатия.

достаточно точной (для наших целей) ее моделью, и малой, если мы располагаем необходимыми ресурсами для использования этой модели в управлении).

Итак, в нашем случае входы $x(t)$ связаны с выходами $y(t)$ известным оператором S : $y(t) = Sx(t)$. Разделим вектор входов на два: $x(t) = (u(t), v(t))$; пусть $u(t)$ описывает процессы на управляемых входах ($u(t)$ называются управлением), а $v(t)$ — это неуправляемые, но наблюдаемые, известные входы. В начальный момент t_0 состояние системы описывается переменными $x(t_0)$ и $y(t_0)$. Как мы договорились, цель определяется нужными, желаемыми значениями выходов y^* в будущий момент T . Задача теперь состоит в том, чтобы подобрать такие управления $u(t)$, чтобы привести к моменту T систему в состояние y^* : $y(t|t=T) = y^*$. Даже если цель в принципе достижима, не всякое управление приведет систему к цели; кроме того, все управления, приводящие к цели, могут различаться (например, затратами энергии, времени или других ресурсов). Тут-то и возникает задача отыскания оптимального управления. Желая найти «наилучшее» управление, мы должны точно сказать, что мы понимаем под качеством управления. Обычно для этого вводится количественная характеристика качества («критерий качества»), т. е. число, в общем случае зависящее от всех траекторий: $\Phi(u(t), v(t), y(t))$. Наилучшим управлением $u^*(t)$ считается то, которое доставляет этому критерию максимум (это, кстати, означает, что функционал $\Phi(\cdot)$ задается не «как попало», а подходящим способом, так, чтобы он действительно выражал качество управления в нашем понимании). Кроме того, обычно на управление накладываются ограничения, так как не всякая максимизация Φ приемлема. Эти ограничения тоже выражаются функциями от траекторий $\varphi_i(u(t), v(t), y(t)) = 0$, $i = 1, \dots, n$. Тогда задача отыскания оптимального управления сводится к нахождению $u^*(t)$, доставляющего максимум Φ и в то же время удовлетворяющего условиям $\{\varphi_i = 0\}$. Эта задача имеет, можно сказать, необозримое количество вариантов в самой постановке: разным практическим требованиям соответствуют разные функционалы качества и ограни-

чений, ограничения могут быть «сильными» (равенства) или «слабыми» (неравенства). Разные постановки задачи оптимизации требуют разных методов их решения, и стоит подчеркнуть, что далеко не все типы задач к настоящему времени обеспечены эффективными методами решения.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ

Освоение природных богатств невозможно сейчас без развития такой отрасли естествознания, как химия. Уже в конце XIX в. отчетливо понималось это. В вступительной лекции по химии, прочитанной в Томском университете 12 октября 1888 г., С. И. Залесский отмечал, что химия составляет «краеугольный камень самых различных человеческих познаний и прикладных наук, двигает вперед и культуру, и цивилизацию, и материальное благосостояние народа. Прогресс химии — прогресс всего человечества!»¹.

За прошедшие с тех пор 90 лет в мире произошли гигантские изменения. Немалую, а во многих случаях и незаменимую, роль в этом сыграла химия. Ни одно крупнейшее достижение этого столетия не свершилось без участия химии. Без разработки химиками процессов разделения изотопов урана было бы невозможным создание ядерной энергетики, а методов сверхочистки веществ — современной полупроводниковой техники. Без разработки химией новых видов топлива немыслимо получение горючего для космических кораблей и проникновение человека в космос. Появление искусственных пластмасс уже само по себе явилось революцией в современной технологии. Создание новых видов удобрений, ядохимикатов, антибиотиков, красителей существенно облегчило человечеству вопросы снабже-

¹ Залесский С. Значение химии для культуры и человечества. Метод ее преподавания, Томск, типолитография Михайлова и Макушина, 1888, с. 18.

ния продовольствием и охраны здоровья. Поток химической продукции—новые покрытия, новые краски, новые лекарства, новые технологические материалы — становится с каждым днем все шире и многограннее².

Бурный научно-экономический прогресс химии породил, в свою очередь, целый ряд проблем, которые в настоящий момент встали в полный рост, привел к выделению социальной стороны процесса химического познания и развития этой науки. Анализ этих проблем, их классификацию правильнее всего проводить на основании об-

Схема строения химического знания

Стрелками обозначены связи между отдельными компонентами структуры



² О достижениях современной химии см.: Роут Дж. Химия XX века. М., Мир, 1966.

щего представления о строении человеческого знания³, так как химическое знание построено по тем же принципам. Структуру знания составляют многие компоненты, тесно взаимосвязанные.

Современное знание основывается на двух факторах. Первый из них и основной — это природа, так как вся человеческая деятельность является продуктом внешних условий, то есть объективных законов природы. Тем самым основой знания и главным критерием его истинности является природа и технология — совокупность приемов и методов, направленных на получение из природных источников продуктов, удовлетворяющих потребности человеческого общества. В свою очередь, эти потребности формируются социально-экономическим уровнем развития и господствующим мировоззрением. Таким образом, природа является поставщиком сырья для деятельности человечества, а социальный уровень развития общества — «заказчиком» продукта этой деятельности, знания же, наука выступает в этой схеме как исполнитель.

Рабочим инструментом науки является теория, обобщающая причинно-следственные связи между явлениями природы, моделирующая их посредством целенаправленного эксперимента⁴. Сейчас различается несколько видов теорий. Основой этому разделению служит степень их общности.

Совокупность частных теорий образует метатеорию⁵. В отличие от первых метатеория может не только объяснять и предсказывать определенные явления, но и моделировать общий метод решения существующих задач.

³ См., например: Копнин П. В. Диалектика как логика и теория познания. М., Наука, 1973.

⁴ Эксперимент обладает той отличающей его от наблюдения за природными явлениями особенностью, что постановка его имеет перед собой осознанную цель. Эксперимент выступает своеобразной моделью природного явления, очищенного от всех сопутствующих ему, с точки зрения ученого, ставящего его, процессов. Это сводит эксперимент к жестко детерминированной связи причина — следствие, исключаящей, по мнению его постановщика, влияние случайного. Именно подобный подход, объективно обусловленный природой познания, к эксперименту ограничивает его возможности как критерия истинности.

⁵ Печенкин А. А. Методологические проблемы развития квантовой химии. М., Наука, 1976, гл. II.

Максимальной степени обобщения научное познание достигает в сферах парадигм и картины мира. Под парадигмой понимается совокупность метатеорий, способных в течение определенного исторического промежутка давать модель не только решения задач, но и постановки новых проблем⁶. Еще большей ступенью обобщения является картина мира, которая рассматривает проблемы данной науки в сопоставлении с проблемами другой на основе философских, мировоззренческих позиций. Картина мира определяет характер и сферу применимости парадигмы и пути дальнейшего научного поиска (и определяется в определенной степени ими).

Доминантами в этой иерархии знания являются наблюдение за природными явлениями и осознанная целенаправляющая деятельность человека. Таким образом, базисом науки является природный уровень, с одной стороны, а с другой — уровень социально-экономического развития человечества. Именно они формируют современные представления о структуре любого знания, включая и химическое.

На основании предлагаемой схемы можно выделить четыре слоя знания: эмпирический (наблюдение, эксперимент, технология), теоретический (частные теории, метатеории, парадигма, картина мира), методологический (мировоззрение и, частично, картина мира), социальный (социально-экономический уровень развития, потребности человечества). Соответствующим образом можно подразделить и проблемы химии как технические, теоретические, методологические и социальные⁷.

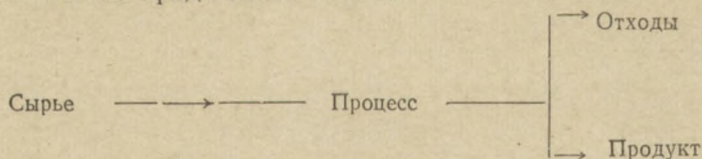
Развитие материального производства и уровня научно-технической революции поставили перед химией ряд глобальных социальных и технических задач. Первоочередной из них является создание безотходных производств. Хорошо известно, сколько наша страна производит угля, чугуна и т. д. А сколько отходов выдает та или

⁶ Кун Т. Структура научных революций. М., Прогресс, 1975, с. 11.

⁷ Следует отметить, что технические и социальные проблемы взаимосвязаны, поэтому и говорить о них надо как об едином целом — социально-технических проблемах, так как новая технология формирует новые потребности, а они, в свою очередь, требуют еще более новой технологии.

ная отрасль промышленности? Вот некоторые цифры: ежегодно черная металлургия вырабатывает более 61 млн. т шлаков; тепловые электростанции — 70 млн. т золы и шлаков; ежегодно сжигается 100 млн. куб. м отходов деревообработки, выбрасывают свыше 4 млн. т отходов резины⁸. Подсчитано, что один завод средней мощности по производству цинка выбрасывает ежегодно с отходами 21 т свинца, 8 т кадмия, 47 т железа и 365 т серной кислоты. В общем случае производство, взяв от природы 100 т вещества, использует не более 3—4 т, а остальное выбрасывается в виде отходов. В расчете на каждого жителя индустриально развитых стран ежегодно извлекается из природы 30 т вещества, из которых он использует около полутонны, а остальное превращается в отходы, загрязняющие и отравляющие ту же природу⁹. А ведь земные ресурсы небесконечны. Авторы книги «Пределы роста» подсчитали, что запасы алюминия при современных темпах потребления будут исчерпаны через 100 лет, а при учете возрастающего характера потребления — через 31 год. Запасы хрома — соответственно через 420 и 95 лет, кобальта — через 110 и 60 лет, меди — через 56 и 21 год (то есть при нашей жизни, на наших глазах!)¹⁰. К этой проблеме тесно примыкает и другая — утилизация бытовых отходов. За год в Советском Союзе накапливается 3 млн. т макулатуры¹¹.

Все это с особой остротой ставит перед химией задачу разработки таких процессов, которые бы максимально использовали как природные, так и создаваемые человеком сырьевые источники. Сейчас каждое производство можно представить схемой:



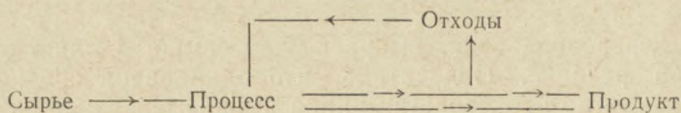
⁸ Болдырев А. С. Слово об отходах, которые при хозяйском подходе дают немалый доход. — Химия и жизнь, 1978, № 2, с. 31.

⁹ См.: Проблемы мира и социализма, 1978, № 3, с. 53.

¹⁰ Цит. по: Павельев А. А. Социальный оптимизм и экологический пессимизм, М., Мысль, 1977, с. 71.

¹¹ Болдырев А. С. Указ. раб., с. 31.

Дальнейшее развитие экономики, увеличивающиеся темпы химизации требуют создания замкнутых производственных процессов и технологий по типу¹²:



Иными словами, химия должна решить проблему полного использования сырья с утилизацией всех отходов как промышленного, так и бытового происхождения.

Но создание подобного рода замкнутых производственных процессов не является самоцелью. Никому не интересен продукт ради продукта, завод ради завода. Необходимо четкое представление о назначении получаемого вещества и тем самым самого производства. Здесь также решающая роль принадлежит химии. Среди множества задач, которые ставит человечество перед химией, важнейшими являются разработка технологии создания искусственной пищи и создание принципиально новых по механизму действия лекарственных препаратов.

Первые шаги по получению искусственной пищи были предприняты в середине 50-х годов в лаборатории А. Н. Несмеянова. В настоящее время над этой задачей работают уже многие лаборатории не только в СССР, но и в мире. Все более расширяется поиск и получение новых лекарственных препаратов. Сейчас в Советском Союзе каждое вновь полученное соединение в обязательном порядке проходит проверку на биологическую активность.

Отмеченные и многие другие проблемы, перечень которых можно продолжать до бесконечности, сводятся в конце концов к одному вопросу: «Для чего предназначено это вещество, какова его роль в науке, промышленности, быту? Для этого необходимо заранее предсказывать бытовые и промышленные свойства всех ожидаемых веществ еще до их непосредственного по-

¹² Загладин В., Фролов И. Глобальные проблемы современности и коммунисты. — Проблемы мира и социализма, 1978, № 3, с. 51—64; Сен-Марк Ф. Социализация природы. М., Прогресс, 1977.

лучения и применения. Однако до сих пор ни один химик не в состоянии сделать это. Сложившаяся ситуация приводит к колоссальным и малопродуктивным исследованиям. Например, для нахождения эффективного лекарства против рака желудка необходимо опытным путем перепробовать тысячи веществ. Ежегодно на проверку лекарственных свойств поступает около 2 тыс. новых соединений. В результате проверки для дальнейшей апробации из них отбирается не более 5-ти. Время, которое необходимо затратить на прохождение вещества от пробирки, где оно получено впервые, до его применения в виде лекарства, составляет от 8 до 10 лет¹³. Аналогичная картина наблюдается и в остальных сферах приложения химии к практическим нуждам человечества.

Все это ведет к широчайшему развитию экспериментального уровня. Ежегодно получают несколько тысяч абсолютно новых соединений, каждые 13 лет объем эмпирической информации в химии удваивается¹⁴. Сложилась такая ситуация, что, если исследование какого-либо явления требует около 100 тыс. долларов и известно, что оно уже где-то было проведено, дешевле, быстрее и лучше провести его вновь, чем искать готовое решение в потоке литературы¹⁵. Подобное положение привело химию, как, впрочем, и другие науки, к чисто информационным трудностям. Достаточно сказать, что ежегодно по химии выходит только периодических изданий около 5 тыс. наименований¹⁶. Возникшие информационные трудности вызваны экспоненциальным развитием науки и могут быть преодолены несколькими путями.

Основными из них являются развитие теоретического слоя знания и усовершенствование системы информации. Они дополняют друг друга, но развиваются независимо. Усовершенствование системы информации

¹³ Казьмина Л. Наука—промышленность—медицина. — Химия и жизнь, 1977, № 11, с. 54—56.

¹⁴ Роут Дж. Указ. раб., с. 16.

¹⁵ Васьковский В. Е. Как работать с научной литературой? — Химия и жизнь, 1978, № 2, с. 98.

¹⁶ Подсчитано нами на основании реферируемых периодических изданий в «Реферативном журнале. Химия» (СССР) и «Chemical Abstracts» (США — Великобритания).

в химии уже сейчас происходит весьма интенсивно. Пример тому — создание реферативных журналов, сигнальной информации и других изданий¹⁷.

Более соответствует химии и перспективен путь увеличения емкости знания посредством создания метатеорий и развития парадигм, т. е. углубления и развития структуры теоретического слоя знания. Следует также учесть, что только развитие теоретического слоя может привести химию к решению основной ее проблемы — выяснению связи между строением вещества и его практическими свойствами. Однако рассмотрение вопросов, связанных с методологическими и теоретическими проблемами химии, требует четкого определения предмета этой науки.

Каждая наука изучает свою отдельную форму движения материи, т. е. — вид взаимного воздействия тел друг на друга¹⁸. Тем самым химия — это наука о химической форме движения материи. Но как любая форма движения, химическая может переходить в физическую и биологическую формы. Следовательно, возникает необходимость отделения химической формы от иных, выявление ее специфических черт. Сейчас этот вопрос стоит наиболее остро, так как ряд ученых сводит химическую форму движения к чисто физической, а химию — к физике. Они утверждают, что химическая форма есть «единая совокупность определенных физических процессов»¹⁹. Более четко сформулировал этот тезис Б. И. Степанов: «То, что принято называть химическим процессом, с точки зрения спектроскопии является одним из типов неоптического перехода между уровнями энергии. В ряде случаев даже чисто оптический переход эквивалентен химическому преобразованию системы»²⁰. Иными словами, химическая форма движения материи суть электромагнитное взаимодействие.

Но не всякое электромагнитное взаимодействие

¹⁷ См.: Информационные проблемы современной химии. М., Изд-во ВИНТИ, 1976.

¹⁸ Энгельс Ф. Диалектика природы. М., ОГИЗ, 1948, с. 47.

¹⁹ Боряз В. Н., Солопов Е. Ф. Философские вопросы химии. М., Наука, 1976, с. 225.

²⁰ Степанов Б. И. О тождественности методов описания химических и спектральных процессов. — Изв. АН БССР. серия физ.-мат. наук, 1972, № 3, с. 67.

приводит к химическому процессу, Так, взаимодействие атомов урана и неона не ведет к образованию молекулы, а дает при определенных условиях атом нового элемента — менделевия. Взаимодействие молекулы с электромагнитным полем также не во всех случаях протекает, как химический процесс. На атомно-молекулярном уровне физическое взаимодействие не завершается созданием качественно полностью нового материального тела, в то же время как химическая форма движения дает его. Физическое взаимодействие не имеет каких-либо промежуточных стадий между своими конечными точками, а химическое — имеет эту стадию, которая характеризуется сильным взаимно обусловленным и согласованным изменением качественных и количественных характеристик взаимодействующих тел.

Например, если при нагревании этилового спирта он переходит из жидкого в газообразное состояние и только в газообразное, то при этом он сохраняет свою качественную молекулярную природу. И в жидком, и в газообразном состоянии он будет состоять из молекул этилового спирта, а не превратится при нагревании в воду. Причем сам переход будет осуществляться без каких-либо промежуточных стадий. В данном варианте наблюдается типичный физический процесс. Если же взять систему этиловый спирт — серная кислота, то при нагревании будет происходить образование двух, совершенно отличных от начальных новых систем (химический процесс): этилен — вода и диэтиловый эфир — вода. Таким образом, хотя мы имеем и в том, и в другом случае агент физического происхождения, форма его движения различна. Во втором примере между начальной системой и конечными результатами будут появляться одна или несколько выделяемых непосредственно и (или) опосредованно (с помощью приборов) промежуточных систем: этилсерная кислота, оксониевый ион и т. д. Эти промежуточные стадии не похожи ни на начальную, ни на конечную.

Понятие промежуточной стадии (переходного состояния, активированного комплекса — это синонимы) обладает в химической форме движения материи всеобщностью. Эта стадия встречается во всех химических процессах. Она, во-первых, охватывает, включает в себя,

взаимосвязует все категории химии: строение, кинетику, термодинамику. Во-вторых, это понятие охватывает и категории философии: пространство, время, количество, качество. Таким образом, химический процесс — это процесс, приводящий к образованию новых веществ из исходных, и проходящий последовательный и жестко детерминированный ряд промежуточных систем. Наличие таких промежуточных стадий является, по мнению Ю. А. Жданова, «организационным фактором, определяющим способность системы к целенаправленности, адаптации, самоусовершенствованию и средоформирующей деятельности»²¹. Именно наличие промежуточного состояния является основой химической формы движения материи, а тем самым и химии. Именно оно является предметом этой науки.

Для понимания различий и сходства трех смежных наук — химии, физики и биологии — рассмотрим более внимательно общие свойства изучаемых ими уровней материи и движения. С этой целью выделим какую-либо систему. Под системой будем понимать объект исследования, подчеркивая этим термином его априорную сложность. Все свойства этой системы можно разделить на три класса: морфологические, определяемые внутренней структурой системы; функциональные, описывающие ее воздействие на среду; информационные, связанные со степенью организации системы, ее сложностью²². В ходе взаимодействия системы со средой изменяются ее функциональные, а самое главное — информационные свойства. Последнее является следствием того, что само взаимодействие происходит путем переноса информации. Здесь под информацией понимается свойство объектов и процессов сохранять и порождать определенное состояние, которое в различных вещественно-энергетических формах может быть передано от одного объекта к другому, т. е. — это степень, мера организованности объекта²³.

²¹ Жданов Ю. А. Узловое понятие современной теоретической химии. — Вопросы философии, 1977, № 1, с. 112.

²² Дружинин В. В., Конторов Д. С. Проблемы системологии. Проблемы теории сложных систем. М., Советское радио, 1976, раздел 2.

²³ Урсул А. Д. Природа информации. Философский очерк. М., 1968, гл. I.

Например, если метильную группу рассматривать как систему, а остальную часть молекулы, в которую она входит, как среду, то качественно, и в меньшей степени количественно, ее свойства останутся неизменными во всех соединениях, в которых она встречается. При этом ее воздействие на остальную часть молекулы будет постоянным как качественно, так и количественно (сохранение информации, средоформирование)²⁴. С другой стороны, некоторые характеристики самой метильной группы будут несколько меняться в зависимости от остальной части молекулы (перенос информации от среды к системе, адаптация системы). Возникает поток информации от системы к среде и, наоборот, от среды к системе. В ходе переноса информации возможно ее увеличение, т. е. организованность системы возрастает. В свою очередь, это приводит к более целенаправленному взаимодействию новой системы со средой, к адаптации системы в среде.

Назовем свойство целенаправленного взаимодействия среды и системы умножением информации. Оно зависит от меры организованности системы и показывает возможность ее целенаправленного воздействия на среду для выбора определенного, необходимого системе материала для развития. С этой точки зрения, а также с учетом специфики физической, химической и биологической форм движения анализируем физическую, биологическую и химическую системы.

Физическая система не способна к целенаправленному воздействию на среду. Она не выбирает из среды именно те элементы, которые ей нужны. Ее развитие подчиняется статистическим закономерностям²⁵. Например, при росте кристалла из раствора захватываются все частицы, которые в этом растворе имеются, независимо от того, необходимы ли они при построении кристаллической решетки. Подобного рода путь увеличения информации не приводит к усложнению системы, к появлению качественно новых ее морфологических и информационных единиц. Здесь происходит комбинация одних и тех же информационных единиц, варьируется

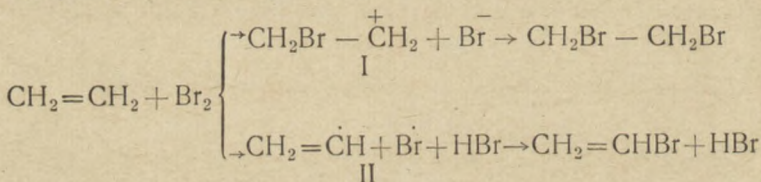
²⁴ См.: Пальм В. А. Основы количественной теории органических реакций. Изд. 2-е. Л., Химия, 1977.

²⁵ Дружинин В. В., Конторов Д. С. Указ. раб., с. 120.

только их количество. Сам путь увеличения информации, таким образом, называется комбинационным. Иной путь эволюционный, наблюдается в биологических системах. В них происходит и количественный, и качественный рост информации. В этих системах имеется целенаправленное воздействие на среду, во многих случаях изменяющее не только саму систему, но и среду ее обитания. Глобальным доказательством этого является возникновение кислородной атмосферы Земли в процессе развития биосферы. Тем самым биологическая система постоянно умножает свою информацию на макро-и микроуровнях организации²⁶.

Анализ химической системы будем проводить с точки зрения парадигмы, основанной на учении А. П. Руденко об эволюционном катализе²⁷. Сущность этой парадигмы заключается в том, что химический процесс развивается по наиболее активным промежуточным стадиям, т. е. наиболее целенаправленно воздействующим на среду. Остальные промежуточные состояния как бы вымирают в этой «борьбе за существование».

Возьмем для примера смесь этилена с бромом. При их взаимодействии будет в основном образовываться дибромэтан, а не бромистый этилен:



Если в этой смеси рассматривать этилен как систему, а бром как среду, то наиболее активной будет промежуточная система I, а не II. Именно она будет обладать свойством максимального умножения информации.

Таким образом, в химической системе появляется качественно новая черта по сравнению с физической: умножение информации на молекулярном уровне. Это

²⁶ Там же, с. 125—133, 210.

²⁷ Руденко А. П. Теория саморазвития открытых каталитических путей. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969. Оценку этой работы можно найти в книге: Кузнецов В. И. Диалектика развития химии. М., Наука, 1973, с. 285—288.

происходит на промежуточной стадии химического процесса, и время умножения информации равно времени существования этой стадии. В биологической системе умножение информации идет уже непрерывно как на микро-, так и на макроуровнях во все время жизни самой системы.

Обобщая, можно сказать, что специфика промежуточных систем в химическом процессе и их роль в химической форме движения материи заключается в том, что они являются центрами умножения информации, носителями эволюции материи от простейших молекул к белкам и генам. Отсюда следует, что познание химических систем и формы их движения требует новых методов и приемов. Сейчас химик не может, не имеет права пользоваться для познания мира только реактивами. Их должна заменить сила абстракции. Сама форма движения диктует необходимость абстрактно-математического, категориального, философского анализа современного химического знания.

Исходя из определения предмета химии и эволюционного характера увеличения информации в химических системах, и следует анализировать состояние современного теоретического слоя химического знания, рассматривать проблемы, возникающие в связи с выделением этого уровня.

Уже простой просмотр литературы по методологическим вопросам естествознания показывает, как мало внимания уделяется философией химии. И это не случайно. Важной задачей философии является осмысление процесса познания, анализ логики и методологии науки. Для этого необходимо изучать эти вопросы на почве наиболее развитой науки — физики²⁸. Но в сложившейся ситуации, когда химия нуждается в абстрактном методе познания, ей крайне необходима философия, хотя последняя и не спешит использовать химию как почву для своих исследований.

Без мировоззренческого подхода невозможно создание так называемой химической картины мира, так

²⁸ Вихаллем Р. А. О разработке философских вопросов химии. — Вопросы философии, 1974, № 6.

как для ее построения необходимо выявление глобальных закономерностей как эволюции химических систем, так и процесса их познания. Создание химической картины мира позволит четко определить положение ее парадигм относительно друг друга, выявить и предсказывать кризисные ситуации в химическом познании мира.

Разработка основ химической картины мира еще не начата, и только Р. А. Вихаллем сформулировал необходимость ее развития²⁹. Можно ожидать, что химическая картина мира будет формироваться тремя путями: из парадигм химии и марксистско-ленинской диалектики, как мировоззрения; из физической картины мира; из биологической картины мира. Последние два пути — наиболее легки, они заключаются в «химизации» физической или биологической картин. Но они содержат в себе и большие возможности искажения истинной химической картины мира, опасность механического сведения химической формы движения материи к физической, или рассмотрения ее как некоей прабιологической формы движения материи.

Более перспективным и научным является путь, основывающийся на парадигмах химии. В нем наиболее органично учитывается специфика химических систем — наличие эволюционного характера увеличения информации в стадии промежуточных стадий. Именно парадигмально-мировоззренческий путь формирования химической картины мира должен стать столбовым в решении методологических проблем химии в ближайшем будущем. Именно с его помощью и в процессе его создания можно наиболее четко определить роль и значение различных теорий в химическом познании мира.

Теоретический слой химии, как и любой науки, имеет сложную структуру (см. схему). Взаимосвязь его отдельных компонент определяется их положением и ролью в познании мира. Принадлежность же той или иной компоненты к теоретическому слою можно определить, исходя из понятия теоретического знания. Под ним будем понимать такое знание, которое, вскрывая суть причинно-следственных связей, может качественно и

²⁹ Там же, с. 95.

количественно объяснить известные факты из эмпирического слоя и предсказать новые явления, которые способны самостоятельно развиваться вследствие внутренних логических противоречий, не прибегая к внешнему толчку из эмпирического слоя.

Согласно этому определению и структуре знания все современные теории химии можно разбить на несколько парадигм. Первой из них, на уровне парадигм, является так называемый термодинамический подход, когда система рассматривается в равновесии со средой, взятой как бы неизменной во времени. Второй парадигмой является в этом плане кинетический подход, когда система и среда рассматриваются во времени. На основе этих парадигм А. Макколл все теории химии разбил на три метатеории: химическую, физическую и математическую. При этом он основывался на методах решения и, в меньшей степени, круге решаемых задач³⁰. Несколько иначе представляет себе структуру теоретического слоя химии В. И. Кузнецов³¹. Всю современную химию он рассматривает в виде исторической иерархии концептуальных систем. Возникновение каждой такой системы не приводит к полному отбрасыванию старой, происходит ее ассимиляция, включение во вновь возникшую. Различие же заключается в их подходе к рассмотрению химической формы движения материи.

Первая концептуальная система — учение об элементах и их соединении — рассматривала химическую форму движения как соединение атомов в молекулы и связывала свойства молекул с типом атомов, входящих в нее. Ее центральным моментом служит периодический закон, открытый Д. И. Менделеевым.

Вторая концептуальная система возникла в 70-х годах XIX в. и имела в своей основе теорию химического строения А. М. Бутлерова. В ней уже постулировалась связь между строением молекулы и ее свойством, а влияние элементного состава рассматривалось здесь как составная часть.

Одновременно стала развиваться и третья концептуальная система, в основу которой легли кинетические

³⁰ Maccoll A. Space and Time in Chemistry, L.; Lewis, 1965.

³¹ Кузнецов В. И. Указ. раб., гл. 7.

представления, разработанные С. Аррениусом. Она впервые ввела в химию понятие времени как важнейшего атрибута химической системы и процесса. Одновременно с этим в ней, точно так же как и во второй, стали фигурировать понятия энергии и энтропии. Последняя выступала как мера дезорганизации системы³².

Собственно говоря, концептуальные системы В. И. Кузнецова и парадигмы (термодинамический и кинетический подходы) весьма близки и отличаются лишь исходной точкой рассмотрения. В. И. Кузнецов подходил к этому вопросу с исторической точки зрения, здесь же, как и в работе А. Макколла, используется подход с точки зрения методологии. Тогда первые две концептуальные системы входят в парадигму, основанную на термодинамическом подходе, а третья — во вторую парадигму.

Развитие термодинамического и кинетического подходов происходило исторически в один промежуток времени. Это привело к первому кризису познания в химии. Он выразился в возникновении разновидности эмпириокритицизма — энергетизма. В. Оствальда, утверждавшего возможность сведения всей материи к энергии. Критика энергетизма и всего эмпириокритицизма, пути преодоления возникшего кризиса познания и причины его возникновения были глубоко проанализированы В. И. Лениным в книге «Материализм и эмпириокритицизм»³³.

Третьей парадигмой (или четвертой концептуальной системой) является учение об эволюционном катализе. Она начала складываться с середины 60-х годов. Эволюционный путь увеличения информации, рассмотренный А. П. Руденко на примере ферментативного катализа³⁴, стал основой этой парадигмы и заложил фундамент научного обоснования химической картины мира.

³² В начале XX в. сходное деление теорий химии было предложено Вант-Гоффом: Van't Hoff J. H. Die chemischen Grundlagen nach Menge Maß und Zeit, Braunschweig, 1912. Изложение взглядов Вант-Гоффа см.: Добротин Р. В. Философские проблемы современной химии. Л., Знание, 1977, с. 25—28.

³³ См. критику взглядов В. Оствальда в этом труде: Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18.

³⁴ А. П. Руденко рассмотрел эти вопросы на примере каталитических процессов. Но, согласно современным представлениям, о лю-

А. П. Руденко подошел к рассмотрению химических систем и процессов, оттолкнувшись от биохимических и биологических процессов и систем, для которых характерно свойство умножения информации. В химических системах это свойство проявляется только в промежуточных стадиях. Согласно этой теории в процессе развития химических систем происходит как бы естественный отбор наиболее активных, способных к максимальному умножению информации в данных условиях промежуточных систем. На них-то и сосредоточивается основное направление химического процесса.

Подтверждение теории А. П. Руденко, ее всеобщего характера, было найдено при решении вопросов, связанных с возникновением жизни, с понятием химической эволюции. Д. Кенъон и Г. Стейнман, говоря о химической эволюции приведшей к возникновению жизни, писали, что «ход реакций определяется природой самих реагирующих молекул, а не общими условиями среды... самим реагирующим молекулам присущи свойства, предопределяющие окончательную природу полимера (белка — С. Д.)»³⁵. Прямым доказательством факта переноса информации и эволюционного характера ее увеличения в ходе химических процессов служит открытие низкотемпературной твердофазной полимеризации, «когда вслед за возникновением первичного активного центра, происходящим под действием ... внешних факторов, происходит спонтанный самопроизвольный рост длинных цепей химических превращений», например, аминокислот в полипептиды³⁶.

Таким образом, возникшая парадигма наиболее полно отвечает сути химической системы и химической формы движения материи.

Возникновение этой парадигмы примечательно еще тем, что при ее создании был использован метод обращения. Здесь химическая система, химический процесс,

бой промежуточной стадии можно говорить как о каталитическом центре. Поэтому вполне правомочно распространить теорию А. П. Руденко на все химические процессы и системы.

³⁵ Кенъон Д., Стейнман Г. Биохимическое предопределение. М., Мир, 1972, с. 304, 305.

³⁶ Гольданский В. И. Квантовые химические реакции вблизи абсолютного нуля и их естественнонаучное значение. — Вопросы философии, 1978, № 8, с. 122, 130.

рассматривается не по принципу «от простого к сложному», а наоборот, с точки зрения информационно и морфологически сложных биологических систем. Метод обращения, применяемый в данной теории, позволяет точно сформулировать причину и двигательную силу эволюции химических систем от простейших неорганических солей до таких сложных биологических объектов как ДНК.

Отсюда можно выделить основные черты современного состояния дел в теоретическом слое химического знания.

Во-первых, ни одна теория из действующих в рамках термодинамического и кинетического подходов (первых двух парадигм) не в состоянии точно предсказать не только количественные характеристики, но и многие качественные. Это происходит потому, что все теоретические построения химии можно разделить на два типа: логико-описательные схемы происходящих явлений или их количественную корреляцию на основе сопоставления двух различных характеристик молекул без какого-либо объяснения причинно-следственной связи, возможно лежащей в основе данной корреляции³⁷. Все это позволяет определить химию как «все еще в очень большей степени экспериментальную науку с громадным собранием фактов, достигающих десятки миллионов, с относительно не очень обоснованной (математически.— С. Д.) теорией»³⁸.

Упование на квантовую химию, встречающееся в работах некоторых как химиков, так и философов и достигающее своего логического конца в полном сведении теоретического слоя химии к соответствующим разделам физики³⁹, неправомерно вследствие порока, заложенного в основе любого квантохимического мето-

³⁷ Примером первого может служить монография Ингольд К. (Теоретические основы органической химии. М., Мир, 1973), а второго — Пальм В. А. (Указ. раб.).

³⁸ Wilson E. B. Some remarks on quantum chemistry.— In Structural Chemistry and Molecular Biology, ed. by A. Rich, N. Davidson, San Francisco, Freeman, 1968, p. 753.

³⁹ Дьюар М. Теория молекулярных орбиталей в органической химии. М., Мир, 1972; Малликен Р. С. Спектроскопия, молекулярные орбитали и химическая связь. — Усп. физ. наук, 1968, т. 94,

да. Все они базируются на понятии волновой функции как математически выраженной вероятности нахождения электрона в молекуле. Исходя из этого, волновую функцию электрона разлагают на сумму составляющих волновых функций того же электрона в отдельных атомах этой молекулы. При квантовохимических расчетах задается приближение этих составляющих волновых функций, а затем последовательно проводится уточнение параметров разложения при неизменном приближении заданных функций. Выбор же указанных функций «в большей степени определяется интуицией, опытом или здравым смыслом исследователя»⁴⁰. Иными словами, каждый исследователь может задавать те приближения, которые ему нравятся, и получать те результаты (и количественные, и качественные), какие ему необходимо. О каком же объективном познании мира можно в этом случае говорить?

Во-вторых, если существующие теории и парадигмы не в состоянии предсказать чисто теоретические характеристики веществ, то они тем более не могут сделать этого для практических свойств вещества. Н. В. Хромов-Борисов писал: «Если в молекуле кофеина одну метильную группу заменить атомом водорода, то получится теобромин... Он практически не стимулирует центральную нервную систему. Зато по сравнению с кофеином он обладает более выраженным мочегонным действием. Лишний метил в молекуле кофеина каким-то образом усиливает ее действие на головной мозг и одновременно ослабляет ее действие на почки... Это еще одна неразгаданная загадка»⁴¹. И таких загадок стоит перед химией бесчисленное множество, так как до сих пор идут дискуссии даже о качественном соотношении «строение — практическое применение».

В-третьих, химия испытывает большие трудности при создании абстрактно-математического аппарата. Вызва-

вып. 4, с. 585—606; Печенкин А. А. Указ. раб.; Степанов Б. И. Указ. раб.; Preuß H. Gegenwärtige Möglichkeiten wellen mechanischer Absolutrechnungen an Moleculen—und Atomsystem, *Forschr. und Forsch.*, 1968, Bd. 9, H. 3, S. 325—353.

⁴⁰ Дьюар М. Указ. раб., с. 57.

⁴¹ Хромов-Борисов В. Н. Всего лишь метил... — *Химия и жизнь*, 1977, № 4, с. 37.

но это следующими основными причинами: составные части химической системы нельзя описать на одном математическом языке; не все свойства объектов исследования имеют или находят количественное описание; задачи содержат очень большое число переменных вследствие сложности химических систем; и, наконец, нет химиков, хорошо, тем более великолепно, знающих математику, и нет математиков, которые не только что знали, но даже бы заинтересовались химией.

Наконец, сейчас идет формирование новой парадигмы в химии, основанной на теории эволюционного развития химических систем... Смена же парадигм является критерием кризиса познания и источником научной революции⁴².

Все эти признаки вкупе именно и говорят об определенном кризисе познания в химии. Кризисе в том отношении, что созрели условия для ее перехода от наук описательных к наукам точным. Внешне это проявляется в определенном редукционизме, сведения химии к физике, к сетованиям по поводу «конца химии как науки». Конкретные проявления таких высказываний рассматривались нами выше, и здесь уже нет нужды их повторять. Создание абстрактно-математического аппарата химии, химической картины мира никоим образом не сводит химию к физике, так как этот аппарат будет учитывать специфику химической формы движения материи. Ведь в противном случае он теряет всякий смысл, так как не будет описывать реальные системы. Особенность современного кризиса познания в химии в том, что он действует более утонченно, говоря о сводимости химии к физике, утверждая невозможность существования химической картины мира. По сути дела этот кризис — кризис механистических воззрений химиков, да и физиков, на материю и ее движение, совместно с изощренным тезисом о непознаваемости высших форм движения материи. Особенностью же кризиса является вялость его протекания, неопределенность форм его проявления.

Тем самым необходимость абстрактно-математического и философского категориального аппарата в химии

⁴² См.: Ку н Т. Указ. раб., гл. VII, IX.

базируется на требовании четкого выявления причин кризиса познания и выхода из него. Это, в свою очередь, ускорит развитие теоретического слоя в химии, создание химической картины мира и самого абстрактно-математического аппарата.

Подобного рода работы по созданию математического аппарата уже начаты. Учитывая сложность химической системы и химических процессов, их пытались описать с помощью таких разделов математики, как теория графов, топология, теория множеств и неевклидова геометрия⁴³. По мнению Танг О-чина и Кьянг Ян-суна, теория графов должна «сыграть более эффективную (чем теория молекулярных орбиталей.—С. Д.) роль в изучении и постановке научных экспериментов» в химии⁴⁴.

Интересно отметить, что возникновение последней парадигмы и попытки создания математического аппарата химии, то есть своеобразной математической химии, произошли одновременно. Это показывает их взаимообусловленность, взаимосвязуемость в том смысле, что появление каждого из этих явлений необходимо приводит к появлению другого.

Развитие абстрактно-математического аппарата предопределяет еще более широкое использование ЭВМ в химии. Уже сейчас химики часто пользуются компьютерами при решении самых различных задач. О широте использования ЭВМ можно судить хотя бы по тому, что один раз в два года собирается международный симпозиум «Применение ЭВМ в химии»⁴⁵. Поэтому вполне правомочен вопрос — не может ли в будущем химичес-

⁴³ Чешко Ф. Ф. Алгебра химических множеств. Харьков, Изд-во Харьк. ун-та, 1965; Соколов В. И. Алгебраические свойства химических множеств.— Журн. структ. химии, 1975, т. 16, № 6, с. 971—975; Уилсон Р. Введение в теорию графов. М., Мир, 1977, с. 16; Берж К. Теория графов и ее применение. М., 1962, с. 34; Кривошей И. В. Топологические методы в задачах структурной и квантовой химии. Автореф. на соиск. учен. степени докт. хим. наук. М., 1975.

⁴⁴ Tang Au-chin, Kiang Yuan-sun. Graph Theory of Molecular Orbitals, Scientica Sinica, v. 19, № 2, p. 226, (1976).

⁴⁵ О широте применения ЭВМ в химии см.: Тезисы IV Международного симпозиума «Применение ЭВМ в химических исследованиях и образовании». Новосибирск, 1978.

кая лаборатория полностью быть заменена на ЭВМ, не появится ли такая наука как компьютерная химия? Но как отмечал К. Коулсон, ««химия—нечто гораздо большее, чем численные значения некоторых величин... и не так важно, получены ли эти численные значения от компьютера или в лаборатории... Мы нуждаемся и в компьютерах, и в лабораториях...»⁴⁶. Тем самым поставленная выше альтернатива отпадает.

Химия все быстрее становится в один ряд с физикой и математикой. Этот переход совершается не безболезненно в силу чисто субъективных факторов: ведь развитием химии как науки занимаются люди. Но он объективно обусловлен как внешними, так и внутренними задачами химии. Только тогда, когда химия станет такой же точной наукой, как физика, она сможет быстро и эффективно решать стоящие перед ней задачи.

⁴⁶ Coulson C. A. Laboratories or Computers—the Future of experimental Chemistry, University of Witwatersrand Student Science Journal, 1972. Цит. по: Быков Г. В. История органической химии. — Структурная теория, физическая органическая химия, расчетные методы. М., Химия, 1976, с. 341.

ЭКОЛОГИЯ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ

Развитие науки, как отмечал Ф. Энгельс, всегда обусловлено интересами производства. Экология в этом отношении является прекрасной иллюстрацией справедливости общего марксистского положения о взаимосвязи теории и практики.

Экология, остававшаяся до середины XX в. сравнительно узкой биологической дисциплиной, в течение третьей четверти нынешнего столетия претерпела бурное развитие. Из науки, знакомой небольшому кругу специалистов-биологов, она стала одной из наиболее популярных общих дисциплин. Теперь по вопросам экологии пишут не только биологи, географы и другие естествоиспытатели, но также экономисты, юристы, философы, политики, инженеры, врачи, психологи, журналисты и др.

Представляет интерес вкратце проследить основные теоретические и практические аспекты экологии и тенденции ее развития от прошлого через настоящее к возможному будущему.

Изучение живого прошло длительный и сложный исторический путь развития. Вся история биологических наук представляет арену острой идеологической борьбы. На протяжении двух с лишним тысячелетий шла борьба материализма против идеализма по вопросам сущности живого, возникновения жизни на Земле,

происхождения видов животных и растений, появления человека и т. п.

Экология как наука о закономерностях взаимоотношений организма и среды могла возникнуть и возникла лишь на определенном уровне развития производительных сил и становления биологии, когда проблема вида начала разрабатываться с материалистических позиций. Поэтому развитие экологии тесно связано и переплетается с разработкой учения о виде.

В истории экологии можно проследить четыре характерных периода¹.

Первый период, характеризовавшийся накоплением первоначальных наблюдений и научных данных о жизни организмов в природе и взаимоотношениях растений и животных с окружающей средой, продолжался с древнейших времен до конца XVIII в. Уже в сочинениях Аристотеля и Феофраста можно отметить многочисленные элементы экологии, которые затем продолжали накапливаться и развиваться в течение веков в зоологических и ботанических сочинениях ученых разных стран. Экологические знания касались условий жизни тех или иных организмов, вопросов питания, размножения и т. п., т. е. речь шла об экологии на «уровне организма». В новое время этот начальный период предистории экологии получил известное завершение в трудах К. Линнея, А. Трамбле, Ж. Бюффона и других ученых эпохи креационизма.

Второй период развития экологии падает на первую половину XIX в., когда происходит сближение ботаники и зоологии и начинается формирование биологии на основе первой эволюционной концепции Ж. Б. Ламарка. Экологические направления четко выкристаллизовываются в недрах ботанической географии (А. Гумбольдт, А. Декандоль и др.) и зоогеографии (Э. А. Эверсман, Н. А. Северцов и др.).

Завершение этого периода связано с деятельностью профессора Московского университета К. Ф. Рулье, призывавшего изучать жизнь организмов в естественной природной обстановке (зообиология). Здесь речь шла уже не только об экологии отдельных особей, но и

¹ Иоганзен Б. Г. Основы экологии. Томск, Изд-во ТГУ, 390 с.

об экологии групп сходных организмов, что позднее стало называться «экологией популяций». Изучались взаимоотношения популяций различных растений и животных как между собой так и с окружающей их средой.

Третий период развития экологии связан с победой дарвинизма, привлекшего внимание биологов к изучению адаптаций. Открытия Ч. Дарвина по вопросам изменчивости, наследственности и естественного отбора имели решающее значение для дальнейшего развития биологии. Проблема вида становится важнейшей проблемой биологической науки.

Соответственно этому и в экологии в центре внимания стали вопросы экологии вида, что привело, наконец, к оформлению экологии в качестве особой науки.

Для новой биологической науки, призванной изучать один из труднейших вопросов — развитие приспособлений, Э. Геккель предложил в 1866 г. название «экология» (от греческих слов: ойкос — жилище, местообитание; логос — наука). На протяжении второй половины XIX и в начале XX в. происходит формирование экологии животных и экологии растений как ведущих экологических (и в целом — биологических) дисциплин.

В 1877 г. К. Мебиус, изучавший устричные банки Северного моря, предложил для обозначения сообщества организмов понятие «биоценоз». Экология получила четвертый по счету объект исследования, наряду с изучением экологии особей, популяций и видов. Зоологи включили изучение биоценозов в экологию животных, ботаники же выделили изучение растительных сообществ (фитоценозов) в особую науку — фитосоциологию (впоследствии переименованную в фитоценологию), тем самым значительно сузив объем экологии растений и обеднив ее содержание. Так началось принципиальное расхождение в понимании объема, содержания, методов и задач экологии зоологами и ботаниками, отрицательно сказавшееся на развитии экологии как науки.

Четвертый период развития экологии, начавшийся в 20-х годах нашего столетия, характеризуется становлением экологии как общеприкладной науки, изучающей закономерности взаимоотношений организма и среды, образ жизни и развитие приспособлений у живот-

ных и растений, динамику численности и биомассы популяций и биоценозов. Этот период связывает прошлое экологии с ее настоящим.

Для современного периода развития экологии характерно несколько тенденций: появление крупных сводок по экологии животных (Пирс, 1926; Элтон, 1927; Фридерикс, 1930; Чепман, 1931; Боденхеймер, 1938; Кашкаров, 1938; Наумов, 1955; Макфедьен, 1963 и др.) и растений (Мак-Дуголл, 1935; Поплавская, 1937; Шенников, 1950 и др.), дифференциация экологии и одновременно ее интеграция.

Дифференциация экологии идет по двум линиям и выражается в появлении специальных направлений исследования (и соответственно монографий) как по ряду групп организмов (экология водорослей, экология насекомых, экология рыб, экология птиц и т. д.), так и по ряду биологических дисциплин (экологическая цитология, экологическая физиология, экологическая морфология, палеоэкология, радиоэкология и т. д.).

Интеграция экологии заключается в стремлении объединить все ее частные направления и рассмотреть под определенным углом зрения (закономерности взаимоотношений организма и среды, развития приспособлений, динамики численности и биомассы популяций и биоценозов) весь живой мир. Первые попытки изложения основ интегрированной, или «глобальной», экологии предприняли В. Шелфорд (1929), Д. Н. Кашкаров (1933), Ф. Клементс и В. Шелфорд (1939), Г. Кларк (1954), Ч. Элтон (1958), Б. Г. Иоганзен (1959), Е. Одум (1959), Б. Стугрен (1965), А. Златник (1973) и др.

В СССР положение с пропагандой идеи общей экологии долгое время тормозилось представителями «экологии животных» и «экологии растений», не допускавших возможности существования общей экологии, и наша книга долгое время оставалась единственным руководством на русском языке по этой важной дисциплине. В учебном плане университетов (1975 г.) по специальности «биология» даже в настоящее время существует предмет под довольно странным названием «Эко-

логия, биогеоценология и охрана природы», по которому нет ни программы, ни учебного пособия.

Значительно лучше обстоит дело в системе педагогических институтов, где по биологической специальности преподается полноценный курс экологии. По нему выпущен уже ряд пособий учеными педагогических институтов: Б. С. Кубанцевым (Волгоград, 1973), И. Н. Пономаревой (Ленинград, 1975) и В. А. Радкевичем (Минск, 1977) с учетом задачи подготовки учителей, способных преподавать «Общую биологию» (9 и 10 кл), в которой освещаются некоторые вопросы экологии.

В то же время возникли определенные «ножницы» в отношении потребности нашего современного общества в литературе по общей экологии и ее удовлетворении соответствующими специалистами. Недостаток отечественных работ издательства «Наука», «Мир», «Прогресс», «Просвещение», Иностранной литературы, Атомиздат и другие пытаются покрыть выпуском ряда переводных изданий²: Ч. Элтона (1960), Е. Одума (1968, 1975), П. Фарба (1971), Р. Дажо (1975), Ф. Дре (1976) и др.

Отрадное явление прорыва длительного замалчивания общей экологии представляет оригинальный труд М. И. Будыко³, в котором затронут ряд насущных проблем экологии настоящего и будущего времени.

Но дело не обходится и без курьезов. Атомиздат выпустил ценную книгу о размещении стронция в почвах различных ландшафтных зон⁴ под совершенно неуместным названием «Экология стронция». Очевидно, и автор и редактор забыли, что термин «экология» относится только к организмам, но не к телам мертвой природы или химическим элементам.

Несколько особняком в отношении к общей экологии стоит учение В. Н. Сукачева о биогеоценозе, или так называемая биогеоценология, выросшая на почве фитоценологии, и ее предшественницы — фитосоциологии.

² Иоганзен Б. Г., Логачев Е. Д. Некоторые замечания о переводных руководствах по общей экологии. — В сб.: Проблемы экологии позвоночных Сибири. Кемерово, 1978.

³ Будыко М. И. Глобальная экология. М., Мысль, 1977.

⁴ Тюрюканова Э. Б. Экология стронция-90 в почвах. М., Атомиздат, 1976.

Принципиальные недостатки этой концепции заключаются в том, что биогеоценоз рассматривается как система взаимодействующих компонентов, которых нет реально в природе, о чем писали еще Л. Г. Раменский⁵ А. И. Толмачев⁶ и др. Центральное место в биогеоценозе занимает взаимодействие фитоценоза и зооценоза. По этому поводу можно напомнить слова Д. Н. Кашкарова: «Животное сообщество (зооценоз) как и растительное сообщество (фитоценоз) — экологические абсурды»⁷ справедливые и сегодня, с которыми согласны А. И. Толмачев (1953), П. С. Погребняк (1955), К. В. Арнольди и Л. В. Арнольди (1962) и др.

Дело заключается в том, что различные организмы — микроорганизмы, растения и животные, являющиеся отдельными элементами экосистемы, тесно связаны между собой трофически (продуценты, консументы различных порядков, редуценты) и образуют биоценоз. В биоценозе растения и животные взаимодействуют между собой также по другим линиям (например, многие животные обеспечивают перекрестное опыление растений, распространение их семян и т. д.). Таким образом, взаимодействуют между собой конкретные виды микроорганизмов, растений и животных, а не микробоценоз, фитоценоз и зооценоз, как следует по В. Н. Сукачеву. В природе имеет место единство биоценоза и его биотопа⁸, лучше всего выражаемое термином «экосистема».

Следовательно, экология современного периода, как это можно проследить на большом количестве конкретных экологических исследований в области энтомологии, гидробиологии, паразитологии и т. д., развивается на пяти уровнях: организменном, популяционном, видовом, биоценоотическом и экосистемном.

⁵ Раменский Л. Г. О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники. — Ботан. журн., 1952, т. 37, № 2.

⁶ Толмачев А. И. К вопросу о биогеоценологии. — Журн. общ. биол., 1953, т. 14, № 4.

⁷ Кашкаров Д. Н. Основы экологии животных. Л., Учпедгиз, 1944, с. 218.

⁸ Иоганзен Б. Г. Единство биоценоза и его биотопа. — Журн. общ. биол., 1965, т. 26, № 1.

Крупный методологический недостаток концепции биогеоценоза заключается в том, что согласно нее человеку не оказывается места в природе. По В. Н. Сукачеву, человек не является компонентом биогеоценоза (а следовательно, и биоценоза), а лишь влияющим на него фактором⁹. Поскольку вся поверхность Земли несет жизнь, распределенную в биоценозах, и последние не являются оазисами среди пустыни, в которой мог бы находиться человек вне биоценозов, то его место в природе оказывается неизвестным. Некоторые даже приходят к мысли, что человек вышел из экологической системы и стал своеобразной надстройкой¹⁰.

Правильное решение этой проблемы наметил еще Ф. Энгельс, писавший, что «... мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы, — что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее...»¹¹. В полном соответствии с этим представлением в медицине и паразитологии разрабатываются проблемы экологии человека, причем последний рассматривается как член биоценоза. Поэтому можно говорить об антропоценозах (биоценозах с участием человека), среди которых нами выделяются три характерных типа: 1) натурценозы — малоизмененные человеком природные биоценозы с обилием диких видов растений и животных, с которыми человек лишь вступает в определенные отношения в процессе освоения природы (такие антропоценозы будут резко отличаться по ландшафтным зонам — горный, степной, таежный, тундровый антропоценозы и т. п.; 2) агроценозы — сельские антропоценозы с значительными остатками дикой флоры и фауны и большими скоплениями культурных растений и домашних животных при весьма ограниченном видовом их составе; 3) урбаноценозы — городские и промышленные антропоценозы с резко выраженной кон-

⁹ Сукачев В. Н. Основы лесной биогеоценологии. М., Наука, 1964, с. 12.

¹⁰ Попов В. А. Биосфера и человек. — В сб.: Современные проблемы экологии. М., Изд-во МГУ, 1973, с. 166.

¹¹ Энгельс Ф. Диалектика природы. М., Политиздат, 1975, с. 153—154.

центрацией людей на ограниченной территории, со сравнительно небольшими искусственными посадками растений и очень слабо развитой животной жизнью¹².

Таким образом, экология настоящего времени характеризуется повышенным интересом к человеку. С одной стороны, человек рассматривается как объект экологии, особенно его адаптации к экстремальным условиям. С другой стороны, изучаются результаты влияния производственной деятельности человека на окружающую среду. Экология приходит в близкое соприкосновение с охраной природы, и это является не только отличительной чертой экологии настоящего времени, но, несомненно, будет определять лицо экологии будущего.

Будущее науки закладывается в ее настоящем, сегодня. Проследивая развитие в науке нового, прогрессивного, можно видеть тенденции ее дальнейшего развития.

Сложность обстановки в современной экологии иногда расценивается как кризисное состояние¹³, что вряд ли справедливо, а наличие в науке спорных вопросов — признак ее развития.

В экологии совершенно четко проявились за последние годы такие ее новые черты, как интеграция частных направлений в единую общую, глобальную науку; повышенный интерес к человеку и включение его в круг объектов экологии; системный подход к анализу экологических явлений и их моделирование; изучение условий жизни во внеземной обстановке в связи с освоением космического пространства; наконец, сближение экологии с охраной природы, можно сказать, превращение экологии из одной из естественно-научных основ охраны природы (каковой она считается до последнего времени), по существу, в теоретическую основу охраны природы, что вполне закономерно.

Поскольку экология изучает закономерности отношений организма и среды, а охрана природы в своей осно-

¹² Иоганзен Б. Г., Логачев Е. Д. Некоторые проблемы экологии человека. — Биолог. науки, 1976, № 5.

¹³ Федоров В. Д. Заметки о парадигме вообще и экологической парадигме в частности. — Вестн. МГУ, сер. биол., 1977, № 3.

ве связана с проблемой взаимодействия общества и природы, то единство общих задач здесь налицо. Существует, как отмечалось выше, пять уровней экологического исследования и решения соответствующей задачи: организменный, популяционный, видовой, биоценотический и экосистемный. На всех этих уровнях возможно также исследование взаимоотношений человека и среды. Когда мы приступаем к анализу взаимодействия общества и природы, то поднимаемся на качественно более высокую степень познания, переходя из сферы действия биологической формы движения материи в социальную.

Рост народонаселения Земли, научно-техническая революция и урбанизация обостряют взаимоотношения человека с природой. В условиях капиталистической системы объективной закономерностью является надвигающийся экологический кризис, который возможно избежать лишь при социалистической организации общества¹⁴.

В этих условиях намечается определенная гуманизация экологии и зарождение так называемой социальной экологии.

Речь идет прежде всего об идеологических аспектах экологических проблем, общественно-культурных особенностях экологии человека, связи экологии с современным прогрессом¹⁵.

В связи с этим обращается большое внимание на развитие экологического образования, включающего в себя широко поставленное экологическое просвещение (обучение) и экологическое воспитание. Межправительственная конференция по образованию по вопросам окружающей среды, проведенная ЮНЕСКО и ЮНЕП в Тбилиси 14—26 октября 1977 г., приняла ряд важных рекомендаций в этой области.

Идеологический момент в сфере образования по вопросам окружающей среды состоит в следующем. Во-пер-

¹⁴ Экология и политика. Международные дискуссии марксистов. Прага, Мир и социализм, 1972. Федоров Е. К. Экологический кризис и социальный прогресс. Л., Гидрометеониздат, 1977.

¹⁵ Лаптев И. Д. Идеологические аспекты экологических проблем. — Коммунист, 1975, № 17; Артановский С. Н. Общественно-культурные аспекты экологии человека. — Вопросы философии, 1975, № 3; Кантор К. М. Экология и прогресс. — Вопросы философии, 1977, № 6.

вых, некоторые лидеры капиталистических стран относят к окружающей среде не только природу, но и социальные условия. В таком случае забастовку можно рассматривать как явление, нарушающее сохранение окружающей среды. Так, общественный прогресс выдается за регресс, белое — за черное.

Во-вторых, лидеры капитализма пытаются развитием образования по вопросам окружающей среды предотвратить надвигающийся экологический кризис, не затрагивая социальных устоев общества, что представляет собой химеру. В условиях частнокапиталистического способа производства проблемы взаимодействия общества и природы, приводящие к экологическому кризису, неразрешимы.

В-третьих, лидеры капитализма объявляют вопросы охраны природы «проблемой № 1», тогда как в капиталистических странах они рассматриваются в качестве «проблемы № 2», после проблемы борьбы за мир. Крича об охране окружающей среды (включая сюда сохранение реакционных режимов, апартеида и пр.), лидеры капитализма не прекращают гонки вооружений и поиска новых средств массового уничтожения людей. Для прогрессивного человечества ясно, что первоочередной задачей является борьба за мир. Лишь установление мира на Земле делает реальной задачу сохранения окружающей природной среды и развития подлинного экологического образования.

Требуется создание системы экологического образования на всех уровнях обучения: в дошкольных учреждениях, начальной и средней общеобразовательной школе, профессионально-технических училищах, средних специальных учебных заведениях, техникумах, высших учебных заведениях всех направлений и ведомств. Эта большая работа начата — разрабатываются программы и учебные пособия по экологии и охране природы, развернута подготовка соответствующих педагогических и научно-технических кадров.

Экологическое воспитание предусматривает формирование всесторонне развитой личности, понимающей зависимость общества от природы и необходимость ее сохранения, умеющей ценить прекрасное в окружающей природе и обладающей чувством гражданской ответст-

венности перед современниками и будущими поколениями людей за сохранение природы и ее улучшение. Подобное воспитание — дело не одного и не десяти лет. Проводя большую работу по претворению в жизнь законов об охране природы, борясь с браконьерством, мы должны ставить главной задачей соответствующее экологическое и природоохранное воспитание новых поколений, как того требует Конституция СССР. Поэтому охрана природы в значительной степени становится психолого-педагогической проблемой, к разрешению которой должны быть привлечены широкие круги специалистов гуманитарного профиля.

Теперь все чаще говорят о необходимости развития экологического мышления. Человек будущего должен расти и воспитываться в среде, исключающей всякую возможность его недобрых отношений с природой. Его мышление должно быть таким, чтобы каждый шаг и вся деятельность были «природосообразными», т. е. исключали возможность каких-либо непродуманных и отрицательных поступков по отношению к живому, к окружающей среде. Сорвать цветок и поймать бабочку ребенку, убить воробья или кошку подростку должны стать такими же противоестественными поступками, осуждаемыми обществом, как лов рыбы или охота в запрещенном месте и в запрещенное время.

Развитие экологического мышления — необходимая предпосылка для разумного преобразования производственных отношений человека с природой. Не случайно теперь проявляют большой интерес к экологии экономисты¹⁶.

Экологизация производства будущего, закладываемая сегодня требует принципиально нового решения ряда технических и технологических вопросов. Всякие очистные сооружения, возводимые ныне при действующих предприятиях — паллиатив, не решающий проблемы защиты среды, к тому же дорогостоящий. Технология

¹⁶ Лемешев М. Экономика и экология: их взаимосвязь и зависимость. — Коммунист, 1975, № 17; Нагорный А., Сизякин О., Скуфьин К. Некоторые вопросы экологизации производства. — Коммунист, 1975, № 17; Волков Г. «Экологический кризис» и социалистическое природопользование. — Коммунист, 1976, № 12.

будущего должна быть безотходной, водоснабжение предприятий — оборотным, замкнутым. Автомобильный транспорт, сильно загрязняющий атмосферу крупных городов, должен быть переведен с двигателей внутреннего сгорания на электрические батареи и т. п. Возобновляющиеся и невозобновляющиеся природные ресурсы должны рационально и комплексно эксплуатироваться с учетом состояния их запасов. Различные планы преобразования природы (строительство водохранилищ, осушение болот, орошение пустынь, направление части стока северных рек в южные районы страны и т. д.) должны осуществляться с учетом экологических последствий, чтобы предусмотреть и предотвратить нежелательные отрицательные явления.

Экологизация производства — обширная экономическая проблема, стоящая в центре внимания КПСС¹⁷ и играющая важную роль в международных отношениях¹⁸.

Экология, подготовленная всем ходом предшествующего развития, преодолевая имевшиеся заблуждения и трудности, становится действительной производительной силой, способной решать важные народнохозяйственные проблемы.

Диалектический материализм — верный компас и рычаг, содействующий дальнейшему развитию экологии по правильному пути. В отличие от большинства биологических дисциплин, ограничивающихся организменным уровнем исследования и выяснением явлений и процессов, происходящих внутри организма (в органах, тканях, клетке и т. п.), центр тяжести в экологии лежит в изучении надорганизменных систем (популяций, биоценозов, экосистем), т. е. высших уровней изучения живого. Как показывает история физики и химии, прогресс в развитии науки связан с исследованиями на верхней грани соответствующей формы движения материи. Поэтому всемерное развитие экологии — насущная задача общества.

¹⁷ КПСС и экологические проблемы современной научно-технической революции. — В кн.: Партия и современная научно-техническая революция в СССР. М., Политиздат, 1974.

¹⁸ Проблема окружающей среды в мировой экономике и международных отношениях. М., Мысль, 1976; Васильев В., Писарев В., Хозин Г. Экология и международные отношения, М., Международные отношения, 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Методология науки и методологические проблемы естествознания	6
Философские проблемы математики	27
Современные проблемы космологии	55
Основные понятия и некоторые перспективы кибернетики	68
Методологические аспекты проблем современной химии	99
Экология в прошлом, настоящем и будущем	121

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Редактор **В. А. Малаховская**
Технический редактор **Р. М. Подгорбунская**
Корректор **Л. В. Месхи**

ИБ 674. Сдано в набор 29/V 1980 г. Подписано к печати 28/I 1981 г.
Формат 84×108¹/₃₂; бумага типографская № 2. Гарнитура Литера-
турная. Высокая печать. П. л. 4,2; уч.-изд. л. 6,8; усл. п. л. 7,06.
К302020 Тираж 500 экз. Заказ 4489, Цена 1 руб.

Издательство ТГУ, 634029. Томск, ул. Никитина, 17
Типография издательства «Красное знамя»,
г. Томск, ул. Советская, 47

1-847409

Цена 1 руб.

Томский госуниверситет 1878



Научная библиотека 00385875