

ДИАЛЕКТИЧЕСКИЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ В ПРИРОДЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ

ДИАЛЕКТИЧЕСКИЕ
ПРОТИВОРЕЧИЯ
В ПРИРОДЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1967

Сборник посвящен философским проблемам естествознания. На конкретном научном материале физики, астрономии, геологии, биологии, нейрофизиологии авторы анализируют противоречивость развития объективного мира как органического, так и неорганического. Ставят ряд новых вопросов, касающихся противоречий в процессах природы.

Ответственный редактор

М. Н. РУТКЕВИЧ

ПРОТИВОРЕЧИВОСТЬ ФИЗИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

И. Я. ЛОЙФМАН

Стремление раскрыть противоречивый механизм природного взаимодействия, познать «маховые колеса природы» (Гёте), обуславливающие закономерный круговорот материи, свойственно всему современному комплексу физических наук. Именно исследование динамической основы цикличности и направленности процессов природы, исследование динамической основы структуры, функционирования и генезиса природных систем определяет место физики в системе естественных наук.

Естествознанию XIX в. были известны три основных типа взаимодействия тел неорганической природы — механическое, физическое и химическое. Эти данные в сочетании с диалектической идеей структурности природы легли в основу концепции Энгельса об основных формах движения материи. Ф. Энгельс выделял для неорганической природы такие основные формы движения, как механическая (движение земных и небесных масс), физическая (движение молекул и частиц эфира) и химическая (движение атомов). Тем самым ограниченность старого механистического материализма, рассматривавшего все движение в природе только как механическое перемещение в пространстве, была преодолена.

Последующее развитие науки сняло характерное для XIX в. противопоставление химических сил, связывающих атомы в молекулы, силам физическим, обуславливающим кристаллизацию вещества, и привело к откры-

тию в микромире ранее неизвестных форм взаимодействия. Был выявлен целый ряд общих сторон природного взаимодействия и, в частности, оказалось, что механическое взаимодействие нельзя считать специфичным для определенного структурного уровня природы. Возникла необходимость радикального пересмотра представлений об основных типах взаимодействия в природе, которые сложились в XIX в.

Учитывая данные современного естествознания, следует выделить в качестве *основных* для неорганического мира *ядерное, электромагнитное и гравитационное* взаимодействия. Ядерное взаимодействие (в форме сильного и слабого)¹ доминирует на структурном уровне от элементарных частиц до атомных ядер; электромагнитное взаимодействие доминирует на структурном уровне от атомов до кристаллических тел и биополимеров; гравитационное взаимодействие доминирует на структурном уровне от планетоподобных тел до звездных систем. Отсюда вытекает разделение движения в неорганической природе на три основные формы, охватывающие соответственно мир ядра, мир электромагнетизма (по А. Е. Ферсману, мир Менделеева) и мир тяготения, многообразные проявления которых изучаются различными науками о природе (не только физикой).

Основные типы взаимодействия распадаются на ряд частных типов, соответственно специфичности взаимодействия для отдельных звеньев организации данного структурного уровня природы. Так, специфичность внутриатомного взаимодействия ядер и электронов, химического взаимодействия атомов, взаимодействия частиц в многоатомных макроскопических системах (кристаллах, полимерах, газах и жидкостях) позволяет выделить такие частные типы электромагнитного взаимодействия, как внутриатомное, химическое (химическая связь — особый вид электромагнитной связи) и молекулярные.

Планетарные (или геологические), звездные и галактические процессы весьма специфичны, однако в иссле-

¹ Обычно ядерным называют сильное взаимодействие. Слабое взаимодействие — это короткодействующее отталкивание, которое переносится частицами с отличной от нуля массой покоя; оно управляет распадом многих сильно взаимодействующих частиц и некоторых радиоактивных ядер. В этом смысле слабое взаимодействие можно назвать ядерным отталкиванием.

довании этих процессов следует учитывать их принадлежность к такой качественно своеобразной ступени природы, для которой характерна ведущая, доминирующая роль тяготения; так, в звездах суммарная энергия любых ядерных реакций значительно меньше энергии сил тяготения.

В геологических процессах прямо или опосредованно доминирует гравитационный фактор: прямое влияние гравитации обнаруживается в эндогенных геологических процессах движения земной коры и развития горных цепей, магматизма, вулканизма и других; опосредованное влияние — в экзогенных геологических процессах, связанных с деятельностью ветра, текучих вод, морей.

Однако это качественное разнообразие форм природного взаимодействия не исчерпывает его реальной структуры. Процессы природы чрезвычайно многообразны, но все они — от микровзаимодействий до грандиозных процессов в Метагалактике связаны глубокой общностью, поскольку им присущи однотипные формы взаимодействия — притяжение и отталкивание, которые Ф. Энгельс рассматривал как «простые формы движения»². Так, в атомных ядрах проявляются чрезвычайно мощные, но короткодействующие силы ядерного притяжения между нуклонами, уравнивающие электрическое отталкивание протонов. Внутри атома кулоновскому притяжению ядра и электронов противостоит центробежное отталкивание электронов, движущихся вокруг ядра.

Процессы образования и распада молекул являются вместе с тем и процессами образования и разрыва химической связи, химическим притяжением и отталкиванием. Процессы образования и распада кристаллов, полимеров, газов и жидкостей — конденсация и испарение, кристаллизация и растворение, коагуляция и пептизация представляют собой молекулярные формы притяжения и отталкивания.

Основу самых различных явлений геологического движения составляют притяжение и отталкивание в форме элементарных процессов сжатия и расширения земной коры; разогрев радиоактивным теплом приводит к расширению и поднятию земной коры, гравитационные силы вызывают ее сжатие и опускание. Взаимодействие

² См. К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 393.

в звездах проявляется в противоположности гравитационного притяжения и электромагнитного отталкивания (газовое и световое давление) и т. д.

Как показывают исследования, глубинные процессы жизни представляют собой чрезвычайно сложный феномен молекулярного, электромагнитного характера. В основе сокращения и расширения мышц, ассимиляции и диссимиляции вещества в клетке, расщепления и конъюгации хромосом и других элементарных явлений жизни на уровне клетки и организма лежит разрыв и образование молекулярных связей, т. е. отталкивание и притяжение полимерных молекул, а точнее, их комплементарных мономерных звеньев. Однако взаимодействие в биологических макросистемах, составными частями которых являются индивиды (особые организмы), не может быть раскрыто с помощью категорий притяжения и отталкивания и к данной области явлений природы эти категории уже неприменимы. Неприменимы они и к общественной жизни, развитие которой определяется противоречиями иного типа.

Однотипные формы взаимодействия на всех структурных уровнях неорганической природы служат основанием для того, чтобы рассматривать ядерное, электромагнитное и гравитационное взаимодействия как разновидности физического взаимодействия. Отсюда следует, что физическому взаимодействию объективно присуща противоречивость структуры: оно расчленено, если мы обращаем внимание на качественные различия его форм (особенное); оно едино, если мы имеем в виду сходство форм физического взаимодействия и, главное, единую сущность этих многообразных форм (общее).

В этом плане понятия физического, биологического, социального взаимодействий имеют один порядок общности, тогда как понятия физического, с одной стороны, и химического, геологического взаимодействий, с другой стороны, разнопорядковы. Если не учитывать это обстоятельство, то предметная сфера физического исследования будет искусственно сужена. Так, если, следуя Б. М. Кедрову, разделять физическую науку на субатомную и суператомную, то придется исключить из сферы ее интересов область химических явлений³. Между тем

³ См. Б. М. Кедров. Современные границы между физикой и химией.— В сб. «Диалектика в науках о неживой природе». М., 1964.

реальное положение таково (и Б. М. Кедров это косвенно признает), что именно физика изучает образование химической связи, механизм элементарных химических процессов, рассматривая их как частный случай более широкого класса явлений.

Выяснение общих аспектов физического взаимодействия тесно связано с пониманием природы механического взаимодействия (и соответственно — механического движения), особенно если учесть, что классические представления и здесь претерпели существенные изменения.

Абстрагируясь от качественной природы взаимодействия в материальной системе, можно анализировать совокупность связей между ее элементами (воздействия элементов друг на друга), различая для определенного круга условий связи необходимые, постоянные, динамически определяющие движение в системе, и связи случайные, временные, вносящие элементы статистики и вероятности в законы движения. Соответственно соотношению необходимых и случайных связей в системе, характеру их переплетения получаем целый спектр материальных систем — от сравнительно простых упорядоченных систем, в которых влияние случайных связей мало (например, часовой механизм), до сложных неупорядоченных систем из огромного числа элементов, в которых доминирует необходимая связь между статистическими характеристиками системы в целом (например, газ в баллоне).

Для определенного круга условий та или иная материальная система определяется как механическая, термодинамическая, кибернетическая и пр. В действительности здесь можно говорить о различных методах исследования материальных систем — механическом, термодинамическом, кибернетическом, позволяющих выяснять (соответственно): изменение конфигурации системы, взаимодействие системы с окружающей средой, преобразование информации в системе. Поэтому можно согласиться с Е. Ф. Солоповым в том, что точнее было бы говорить о механическом описании движения, а не о механическом движении⁴. Поскольку, однако, принято говорить о механическом взаимодействии, следует выяснить, какое же понимание механического взаимодейст-

⁴ См. Е. Ф. Солопов. Соотношение форм движения и видов материи в природе. — «Вопросы философии», 1963, № 8.

вия наиболее адекватно объективной общности материальных взаимодействий.

Механическое взаимодействие обычно определяется как пространственно-временное перемещение тел, абстрагированное от природы и механизма возникновения сил, вызывающих движение. Это общее положение понимается по-разному. Во-первых, различия имеются в понимании локализации механического взаимодействия. Одни авторы связывают механическое взаимодействие с макротелами, другие — с макротелами и микрочастицами, третьи — с любыми объектами, в том числе и с такими, у которых масса покоя равна нулю.

Во-вторых, различия имеются в понимании характера закономерностей механического движения. Одни ученые считают механическое движение динамическим; другие макромеханическое движение называют упорядоченным, динамическим, а микромеханическое движение — неупорядоченным, статистическим; третьи полагают, что механическое движение имеет динамический характер, но всегда содержит и элементы статистичности.

В-третьих, различия имеются в понимании связи механического взаимодействия с гравитацией. Одни отвлекаются от этой связи, другие абсолютизируют связь законов механического движения с гравитацией, третьи считают эту связь относительной.

По поводу локализации механического взаимодействия можно заметить, что признание всеобщего характера механического взаимодействия не означает отрыва движения от материи, как полагает, например, В. А. Штофф⁵, а представляет собой констатацию существования общих закономерностей, единства в движении материи. Не особый вид материи с присущим ему типом взаимодействия является носителем механического движения, а любые материальные системы, поскольку рассматривается изменение их пространственно-временной конфигурации. «Традиционное разделение задач о движении тел на «механику» и «немеханику», основанное на существовавшем когда-то и безнадежно устаревшем разделении сил на «механические» и «немеханические», — пишет С. Э. Хайкин — потеряло в свете совре-

⁵ См. сб. «Философские вопросы современного учения о движении в природе». Л., 1962, стр. 62.

менных физических представлений всякий смысл»⁶. Универсальность механических характеристик движения — энергии, импульса, момента импульса и других связана с общностью пространственно-временной структуры мира; теорема Э. Нетер устанавливает прямое соответствие между законами сохранения этих характеристик и различными типами симметрии пространства-времени.

О закономерностях механического движения следует сказать, что наиболее общая схема механики, основанная на релятивистски инвариантных вариационных принципах, является динамической схемой. Динамический принцип Гамильтона используется в классической механике, в электродинамике, в теории гравитации, в квантовой механике и квантовой теории поля, т. е. применим к самым различным областям действительности. Можно полагать, что он универсален, но не в духе мирового уравнения Лапласа, поскольку для придания определенности величинам по этому принципу необходимо учитывать качественное своеобразие соответствующего круга явлений. При этом неизбежно включаются в рассмотрение и случайные связи, всегда присутствующие в материальной системе. Элементы статистичности имеются и в задачах классической механики (на это обращал особое внимание М. Борн).

В квантовой механике категория вероятности уже играет фундаментальную роль, однако не следует упускать из виду динамическую сторону микроявлений, например, в случае дифракции пучка электронов статистика разыгрывается внутри дифракционных колец; динамическая сторона присуща также квантовомеханическим закономерностям, например, уравнению Шредингера⁷. Таким образом, механические законы имеют динамический характер и содержат в той или иной мере элементы статистичности.

Наконец, обратимся к вопросу о связи механического взаимодействия с гравитацией. Несомненна и весьма показательна историческая связь между исследованием

⁶ С. Э. Хайкин. Физические основы механики. М., 1962, стр. 9.

⁷ См. С. В. Вонсовский. Принцип причинности в современной атомной физике.— В сб. «Некоторые философские вопросы естествознания». М., 1957.

общих законов движения и исследованием гравитации. Г. Галилей, изучая законы движения тяжелых тел (свободное падение, движение по наклонной плоскости и проч.), ввел понятие инерции и установил относительность движения. И. Ньютон сформулировал основные понятия (масса, сила), основные законы механики и на этой основе вывел из движений небесных тел закон всемирного тяготения. А. Эйнштейн, разрабатывая общую теорию относительности, охватывающую любые ускоренные движения, создал новую теорию тяготения. Эта теория органически связала инертные и гравитационные свойства тел, уравнения движения тел с уравнениями гравитационного поля, а гравитационное поле, в свою очередь, с метрикой пространства-времени. В теории тяготения Эйнштейна единство инерции, тяготения и метрики пространства-времени является основополагающим.

Однако не следует вскрытые связи абсолютизировать, единство превращать в тождество. Макроструктура пространства-времени определяется гравитационными процессами, но на других структурных уровнях природы, там, где тяготение не играет преобладающей роли, структура пространства-времени будет определяться материальными взаимодействиями другого рода, как об этом свидетельствует открытие строгой инвариантности законов природы лишь относительно сочетания пространственной четности с временной и с зарядовым сопряжением. Можно полагать, что микроструктура пространства-времени не тождественна его макроструктуре⁸. Связь механического взаимодействия с гравитацией является не абсолютной, а относительной. Как видим, представление о механическом взаимодействии, сложившееся в рамках изучения движения тяжелых тел, переросло эти рамки и в настоящее время отображает универсальный аспект самых различных материальных взаимодействий.

Выше было отмечено, что общность различных форм физического взаимодействия обнаруживается как их сходство в ряде общих аспектов (механическом, термодинамическом, кибернетическом) и как их однотипность — в ряде качественно различных форм притяжения и отталкивания. Категории притяжения и отталкивания

⁸ См. сб. «Философские вопросы современного учения о движении в природе», гл. III. Л., 1962.

выражают сущность физического взаимодействия как тождество противоположностей, как единство взаимопроникающих противоположных моментов. Они конкретизируют всеобщую категорию противоречия применительно ко всем областям исследований природы (исключая внутривидовые и межвидовые отношения живых организмов). В процессе познания механизма природного взаимодействия категории притяжения и отталкивания изменяют свое содержание, обогащаются и наполняются новым содержанием, а это в свою очередь стимулирует процесс познания.

Как известно, категории притяжения и отталкивания, которыми оперирует современное естествознание, возникли еще в натурфилософии древних. Представление о противоположных началах природы, которые связывают и разделяют тела между собой, выросло из трудовой деятельности человека, в основе которой, как отмечал К. Маркс, лежат две основные, противоположные друг другу функции — разделение и соединение, разложение и связывание. Взаимодействие противоположных начал природы древние мыслители видели в цикличности астрономических и биологических процессов, в непрерывной смене противоположных явлений. Из-за ограниченности знаний эти начала осмысливались в понятиях, заимствованных из мира человеческих отношений (дружба и вражда у Гераклита, любовь и ненависть у Эмпедокла, взаимодействие мужского и женского начал во всех вещах у Ван Чуна).

В антропоморфности первоначальных философских представлений своеобразно был выражен стихийно диалектический взгляд на взаимодействие: уловлен сам факт борьбы притяжения и отталкивания в природе, неотделимость притяжения и отталкивания от материи и друг от друга. В этих представлениях наметились разнообразные подходы к решению проблемы взаимодействия, получившие впоследствии дальнейшее развитие: связь полярности движения с полярностью материи, активность и пассивность простейших частиц, переход противоположностей друг в друга, внутренние и внешние источники движения, закономерный круговорот материи и др.

В XVII—XVIII вв. в силу общественно-исторических условий естествознание было механическим, с позиций

механики рассматривалось и природное взаимодействие. Кинетическая и динамическая тенденции античной науки — тенденции Аристотеля и Демокрита — оформились как противостоящие друг другу системы физических воззрений: картезианство и ньютонианство. Оба эти направления, верно отражая отдельные стороны взаимодействия в природе, имели и свои недостатки. В картезианском понимании материя совершенно пассивна, притяжение и отталкивание носят чисто внешний характер и рассматриваются как кинематические понятия, характеризующие сближение и удаление частиц в их движении. Для ньютоновского понимания характерно стремление учесть природу взаимодействующих тел путем введения активных специфических сил притяжения и отталкивания; однако сами эти силы метафизически разграничивались и противопоставлялись материи, а их основное свойство — мгновенное дальное действие не имело физического объяснения.

В рассматриваемый период выявляются специфические формы притяжения и отталкивания во взаимодействии тяготеющих масс (И. Ньютон), наэлектризованных тел и магнитных полюсов (Ш. Кулон), химических атомов (Я. Берцелиус) и др. Зарождается идея единого силового закона, охватывающего взаимопереходы притяжения и отталкивания на различных структурных уровнях Вселенной (Р. Бошкович); импульсы закона сил Бошковича отчетливо обнаруживаются и в «мировой формуле» П. Лапласа, и в принципе наименьшего действия В. Р. Гамильтона и в первой модели атома (1903 г.), созданной Дж. Дж. Томсоном.

Преодоление механицизма в понимании притяжения и отталкивания и выявление диалектической связи этих категорий относится к XIX в. В это время под натиском открытий естествознания, прежде всего закона сохранения энергии и теории электромагнитного поля Фарадея — Максвелла, рухнули такие опоры механистической трактовки притяжения и отталкивания, как невесомые субстанции и дальнедействующие силы. Теперь уже в каждом явлении природы видели не действие какого-либо специфического флюида, а действие единой силы (энергии), которая превращается из одной формы в другую, сохраняя неизменной свою величину. Притяжение и отталкивание тел сторонники близкодействия сводили

к процессам, развертывающимся в поле, притом так, что притяжение и отталкивание были связаны с единым материальным носителем — полем.

Внесла свой вклад в понимание этих категорий и философия. В XVIII в. И. Кант ввел представление о борьбе противоположных сил притяжения и отталкивания как источнике развития природы и основе космогонического процесса, а в начале XIX в. Гегель исследовал, хотя и в мистической форме, диалектическую взаимосвязь притяжения и отталкивания.

Обобщая с позиций диалектического материализма данные естествознания и философии, добытые к концу XIX в., Ф. Энгельс пришел к выводу, что *притяжение и отталкивание — это элементарные формы взаимодействия в природе*, это те простые полярные формы движения, в которых развертывается мировой процесс. Энгельс указал при этом на наличие в природе целого ряда качественно различных форм притяжения и отталкивания.

Развитие современной науки выявило ранее неизвестные особенности взаимодействия в природе (квантовый характер взаимодействия в природе, его статистичность и др.), привело к дальнейшей конкретизации и обогащению категорий притяжения и отталкивания. С точки зрения современного естествознания всему ряду качественно различных форм физического взаимодействия присущи такие противоположные виды перемещения, как сближение и удаление, такие противоположные тенденции, как действие и противодействие, как статистические тенденции колебания в фазе и в противофазе (колебания частиц в фазе ведут к их притягиванию, колебания в противофазе — к отталкиванию); такие противоположные процессы, как ассоциация и рассеивание (а в микромире — испускание и поглощение квантов поля взаимодействующими частицами, ведущие к взаимопревращениям элементарных частиц, если взаимодействие передается посредством квантов с отличной от нуля массой покоя). В категориях притяжения и отталкивания противоречивость механизма физического взаимодействия находит свое интегральное выражение.

В самом деле, отражая теснейшую связь между свойствами пространства-времени и движением материи, категории притяжения и отталкивания характеризуют не только кинематическую сторону взаимодействия, но и

его динамику, т. е. силы и энергию взаимодействия. Энергию естествознание считает всеобщей мерой взаимодействия, объединяющей обе его стороны — притяжение и отталкивание. Поскольку зависимость энергии от расстояния для притяжения и отталкивания имеет противоположный характер, это обычно учитывается через смену знака энергии.

В качестве примера укажем, что при расчете энергии связи молекулы водорода энергия притяжения электронов и ядер берется с отрицательным знаком, а энергия взаимного отталкивания электронов, энергия отталкивания ядер и увеличение кинетической энергии электронов под действием двух ядер — с положительным знаком. Такие характеристики взаимодействия, как сила и потенциал, теперь рассматриваются как проявления энергии. На основе понятия энергии была введена и такая фундаментальная величина, как действие (энергия \times время), с помощью которой оказалось возможным отделить реальные взаимодействия от всех кинематически возможных.

Заметим, что общность механизма физического взаимодействия позволяет использовать для описания различных его форм одинаковые модели и методы. Так, например, модель осциллятора представляет любой периодический процесс в природе как форму разворачивания противоречия притяжения и отталкивания и лежит в основе объяснения резонансных механизмов взаимодействия. Метод потенциальных кривых расчленяет взаимодействие на области притяжения и отталкивания, вскрывая при этом своеобразную топографию взаимодействия. Метод прямоугольного потенциала дает как бы энергетический скелет взаимодействия в тех случаях, когда его локальные особенности неизвестны (т. е. неизвестен закон сил, который по существу учитывает взаимопереходы притяжения и отталкивания), или же когда система изучается в первом приближении.

Категории притяжения и отталкивания характеризуют не только бинарные, но и статистические отношения частиц. Так, например, связанное состояние двух бозе-частиц считается невозможным из-за слабости их взаимодействия, однако слабое дальнедействующее притяжение бозе-частиц способно при соответствующей плотности образовать связанное состояние всей системы

в целом. С другой стороны, взаимодействие ферми-частиц носит характер отталкивания, однако при определенных условиях могут возникать парные корреляции ферми-частиц, эффективное взаимодействие которых уже имеет характер притяжения (например, образование электронных, так называемых куперовских пар в металле ведет к сверхтекучести электронной жидкости — к сверхпроводимости). Обобщенное выражение различных типов статистической корреляции взаимодействующих частиц дают, как известно, распределения Максвелла — Больцмана, Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака. Сложная игра притяжения и отталкивания в статистической системе, связанная с обменом энергии между ее элементами, лежит в основе релаксационных механизмов взаимодействия, которые ведут к переходу системы от неравновесного состояния к состоянию равновесия (флуктуационное преодоление энергетического потенциального барьера в элементарных актах диффузии, кристаллизации, химической реакции и проч.)

Возьмем энтропию — важнейшую статистическую характеристику системы. Можно показать, что она характеризует степень энергетической компенсации отталкивания притяжением в любой системе многих неупорядоченно движущихся частиц. С изменением соотношения между притяжением и отталкиванием для данной системы изменяется ее упорядоченность, ее энтропия. Так, например, энтропия жидкости меньше энтропии ее пара, энтропия твердого тела в ферромагнитном состоянии меньше, чем в неферромагнитном и т. п. Увеличение энтропии системы означает рост неупорядоченности, отталкивания в системе, тогда как убывание энтропии связано с ростом упорядоченности, притяжения. Установлено (И. Р. Плоткин), что для бесконечной системы все состояния равновероятны, т. е. наиболее вероятного состояния не существует. Но вероятность состояния системы можно, применяя метод А. Эйнштейна, рассматривать как функцию ее энтропии, а это значит, что для бесконечной системы нельзя абсолютизировать процесс возрастания энтропии, нельзя утверждать односторонность изменений в такой системе. Процессы возрастания и убывания энтропии неразрывно связаны, что указывает на круговорот материи в природе.

Внутренняя связь между различными особенностями взаимодействия, между полярностью взаимодействия и атомизмом материи широко используется в современной микрофизике. Здесь, с одной стороны, вводятся представления (Я. И. Френкель и др.) об элементах тонкой структуры материальных систем — квазичастицах, дислокациях, которые ответственны за внутренние свойства этих систем (электропроводность, твердость и проч.) и являются носителями противоположных отношений притяжения и отталкивания: в процессе взаимодействия положительные дислокации становятся отрицательными, отталкивание⁹ переходит в притяжение; притяжение квазичастиц за счет влияния других частиц среды может переходить в отталкивание.

С другой стороны, вводятся представления (Ч. Янг и Р. Миллс, Дж. Сакураи и др.) о динамической реализации симметрии элементарных частиц, о связи внутренних свойств элементарных частиц — барионного заряда, гиперзаряда, изоспина и других с особыми сохраняющимися токами, которые обуславливают короткодействующее притяжение или отталкивание между элементарными частицами. В гипотезе Гелл-Манна и Цвейга симметрия (подобие) сильно взаимодействующих частиц рассматривается как следствие существования фундаментальных частиц — кварков, которые взаимодействуют, отталкиваясь или притягиваясь.

Как справедливо заметил Дж. Сакураи, конечной целью физики элементарных частиц должна быть не просто фиксация на комплексной плоскости всех сингулярностей, соответствующих каждому процессу рассеяния или порождения, но выработка динамической теории элементарных частиц на основе немногих общих принципов⁹.

Заметим в заключение, что рассмотренные выше особенности физического взаимодействия (противоречивость структуры, противоречивость механизма) далеко не исчерпывают сложности физического взаимодействия, но ясно показывают его диалектическую природу.

⁹ См. сб. «Элементарные частицы и компенсирующие поля». М., 1964, стр. 96.

ОТРАЖЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЯХ НЕКОТОРЫХ ДИАЛЕКТИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

Г. С. ОСИПОВ

Физика твердого тела выделилась в самостоятельную область физической науки приблизительно 40—50 лет назад. В настоящее время она является основой ряда важных прикладных наук, таких как металловедение, производство магнитных и полупроводниковых материалов и т. д. Развитие физики твердого тела, тесно связанное за последние десятилетия с квантовой механикой, прошло сложный путь от простого накопления экспериментальных фактов до установления наиболее общих закономерностей движения электронов и ионов, объединенных в коллектив.

Процесс развития этой области знания был и остается чрезвычайно сложным, поскольку объект исследования многообразен и противоречив. Это многообразие проявляется, во-первых, в противоречиях самого строения твердого тела, которые отражают диалектику прерывности и непрерывности объективного мира, его многообразные противоречивые стороны. Во-вторых, противоречия в твердом теле обусловлены взаимодействием противоположных сил, в частности сил притяжения и отталкивания.

Твердое тело представляет собой коллектив электронов и ионов, поэтому надо было изучить законы их движения и взаимодействия, природу сил, объединяющих их в коллектив, специфические свойства этого коллектива в целом. С другой стороны, необходимо было

понять взаимосвязь между рядом макроскопических величин, характеризующих твердое тело, как отражение микропроцессов.

В результате многолетнего изучения твердого тела получены ценные выводы о его строении и внутренних взаимодействиях, созданы теоретические методы для его познания.

Рассмотрим, как эти методы раскрывают объективную диалектику в твердом теле, многогранные связи и отношения в нем, диалектическое единство прерывности и непрерывности, проявляющееся как в строении твердого тела, так и в распространении различных процессов, происходящих в нем, в результате взаимодействий между его составными частями.

Объективная диалектика в строении твердого тела — это прежде всего единство прерывных и непрерывных его свойств, проявляющееся в различных отношениях. С одной стороны, это единство прерывного и непрерывного выступает как отношение между внешней непрерывностью сплошного единого материального объекта (тела или кристалла) и дискретностью его внутреннего строения. Твердое тело, рассматриваемое как единый самостоятельный материальный объект, обладает специфическими свойствами. Оно занимает вполне определенное положение в пространстве с более или менее четко выраженными границами, сохранение которых при довольно большом разбросе значений внешних сил отличает твердое тело как особый материальный объект от жидкости и газа.

Твердое тело как целое, в отличие от других видов материальных объектов, имеет ряд свойств, характеризующих его как особое состояние вещества — твердость, хрупкость, гибкость, непроницаемость для большинства материальных частиц, направленность в передаче внешнего давления.

Вместе с тем, подобное представление о твердом теле является лишь исторически сложившейся абстракцией, позволяющей рассматривать отдельные, чаще всего только внешние стороны материального объекта, имеющего вполне определенное дискретное строение; взаимодействие между элементами этого объекта и определяет его внешние свойства. Так, твердое тело непроницаемо для частиц, энергия которых ниже энергии

связи между его составными элементами; свои определенные границы в пространстве оно сохраняет до тех пор, пока силы внешних воздействий не нарушат силы сцепления между его отдельными дискретными частями. Но в последнем случае твердое тело перестает быть таковым: происходит его качественное превращение в жидкость или газ, т. е. иные состояния вещества.

С другой стороны, единство прерывного и непрерывного в строении твердого тела проявляется как отношение между прерывными и непрерывными свойствами микрообъектов, составляющих твердое тело, и прерывными и непрерывными свойствами коллективов этих микрообъектов в целом. Свойства коллективов микрообъектов, в случае твердого тела — ионов и электронов, нельзя свести только к сумме каких-либо свойств самих микрообъектов.

Единство прерывных и непрерывных свойств у каждого микрообъекта, входящего в состав твердого тела, доказанное опытами по дифракции электронов и атомов, конечно, оказывает влияние на существование этих свойств у твердого тела в целом. Сами опыты по дифракции атомов и электронов проводились на кристаллах, т. е. твердых телах, и доказали не только наличие волновых свойств у отдельных атомов и электронов, но и еще раз подтвердили вполне определенную дискретность кристаллов, которая проявляется в устойчивости кристаллической решетки.

По своей структуре твердое тело, в частности металл, состоит из положительно заряженных остовов атомов, промежутки между которыми заполнены отрицательно заряженными «свободными» электронами. Плотная упаковка атомов в кристаллах, электроны между ними, поля, связанные с атомами и электронами, делают, казалось бы, твердое тело непроницаемым. На первый взгляд кажется удивительным, что любое возбуждение распространяется в твердом теле. Но кроме процессов, вызываемых силами, гораздо большими, чем силы связи между отдельными элементами твердого тела, которые можно еще представить себе (прохождение нейтронов высоких энергий, электромагнитных волн), существуют явления переноса; в них теплота, электричество и вещество (в случае дислока-

ций) перемещаются по твердому телу под влиянием малых градиентов температуры, электрического поля и концентрации частиц.

Вначале кажется, что перенос тепла можно понять, если представить решетку как набор отдельных атомов, колеблющихся около своих положений равновесия и передающих избыток энергии соседям при случайных столкновениях. Но чем тогда объяснить высокую теплопроводность кристаллов алмаза, который при обычных температурах такой же хороший проводник тепла, как металл. Точно так же невозможно объяснить диффузию атомов в обычных условиях как последовательную перестановку соседних атомов в решетке.

Вызывает много вопросов и движение свободных электронов в твердом теле под влиянием внешнего электрического поля, рассматриваемое с позиции взаимодействия только между атомами и электронами (даже с учетом их волновых свойств). С одной стороны, электроны словно не «замечают» плотной упаковки атомов, имея большую среднюю длину пробега; при низких температурах она может достигать 10^{-3} см, т. е. значительно больше тех значений, которые получаются при учете рассеяния энергии электронов на ионной решетке.

С другой стороны, если бы электроны вели себя как свободные частицы, они должны были бы давать заметную добавку к теплоемкости. Однако теплоемкость металлов при высоких температурах мало отличается от теплоемкости диэлектриков, не имеющих свободных электронов проводимости; лишь при низких температурах электронная доля теплоемкости сравнима и даже может быть больше доли решетки (электронная доля в теплопроводности уменьшается с уменьшением температуры по линейному закону, а доля решетки — по закону T^3). Таким образом, неизбежно возникает вопрос — почему электроны, принимая участие в процессах переноса как если бы они были свободными, вносят совершенно незначительный вклад в теплоемкость.

И наконец, под влиянием внешнего электрического и магнитного поля «свободный» электрон ведет себя так, как будто его масса изменилась — она может быть больше или меньше массы «свободного» электрона, а иногда принимает отрицательное значение.

Эти противоречия можно разрешить лишь в том случае, если наряду со свойствами микрообъектов, составляющих твердое тело, учитывать и свойства коллективов этих микрообъектов, которые накладывают отпечаток на поведение каждого составного элемента кристалла. При объединении электронов и атомов в коллективы индивидуальность каждого из них теряется. Движение системы как целого проявляется наиболее ярко, а индивидуальные черты отдельных исходных микрочастиц как бы затушевываются.

При детальном рассмотрении систем, состоящих из многих частиц-ионов или электронов в случае твердого тела, оказывается, что у системы есть такие степени свободы, которые напоминают по своему характеру движение исходных частиц. Эти индивидуализированные степени свободы характеризуют движение элементарных возбуждений коллектива частиц. Вместе с тем в системе взаимодействующих микрочастиц, изменяющейся со временем под влиянием электрического и магнитного полей, появляется возможность возникновения волновых, т. е. непрерывных процессов. Волновые и корпускулярные свойства системы микрочастиц в целом отличны от корпускулярной и волновой природы исходных микрочастиц, составляющих систему. Последние как бы «растворяются» в системе, в значительной степени теряют черты своей индивидуальности, дискретности в наглядном классическом смысле. Это выражается в том, что статистика исходных частиц может быть и отлична от статистики, которой подчиняются сами элементарные возбуждения.

Поэтому здесь следует говорить о проявлении корпускулярных свойств всей системы в целом. При этом опыт показывает, что корпускулярно-волновые свойства коллективов частиц существуют и при 0°K , т. е. они присущи твердому телу в целом.

Подобные явления наблюдаются и в коллективах микрочастиц, составляющих некоторые жидкие тела. Для жидкого гелия, например, коллективные возбуждения имеют доминирующее значение по сравнению с индивидуальными движениями атомов.

Чрезвычайно сложную картину представляют взаимодействия между отдельными элементами, составляющими твердое тело. Эти взаимодействия основаны преж-

де всего на кулоновских силах притяжения и отталкивания, выражающих существование в твердом теле противоположно заряженных микрочастиц.

Так, например, структура металла в определенном приближении (ионная модель металла) состоит из положительно заряженных атомов, промежутки между которыми заполнены свободными электронами. Электростатическое взаимодействие между остовами атомов, расположенных в узлах кристаллической решетки, и электронами вызывает появление сил притяжения. Атомные радиусы металлов значительно превосходят ионные радиусы катионов. Поэтому в металлах силы отталкивания в основном обусловлены движением электронов.

В ионных кристаллах, состоящих из положительных и отрицательных ионов, последние располагаются так, что кулоновское притяжение между ионами противоположного знака сильнее, чем кулоновское отталкивание между ионами одного знака. Недостаток сил отталкивания компенсируется взаимодействием между электронами проводимости.

Расчеты с использованием факта единства корпускулярных и волновых свойств электронов свидетельствуют, что при взаимодействии этих сил с наложенным на кристалл внешним электрическим полем удельное сопротивление чистого металла является линейной функцией температуры. Однако эксперимент показывает, что это лишь приблизительно верно (с точностью до характера пропорциональности) отражает действительную зависимость удельного сопротивления от температуры.

При анализе взаимодействия между отдельными структурными частями твердого тела необходимо учитывать не только эти, казалось бы главные, силы, но и многие другие факторы, связанные не только с существованием отдельных микроэлементов, но и с действием их коллективов. Атом не только совершает колебания около положения равновесия в узле решетки, но участвует в общем колебании решетки как единого целого (общее число колебаний равно общему числу степеней свободы). Кроме того, нельзя забывать, что колебания ограничены определенной величиной, связанной с дискретным строением твердого тела; это «обрезает»

спектр возможных колебательных движений со стороны коротких волн.

Электрон, движущийся в поле ионов, можно рассматривать как свободный лишь в первом приближении, так как кроме кинетической энергии ему присущи потенциальная энергия в поле ионов и взаимодействие со всем коллективом электронов. Изотопный эффект в сверхпроводимости указывает на взаимодействие электрона со всем коллективом атомов (с тепловыми колебаниями решетки в целом), в результате чего возможно возникновение сил притяжения между одинаково заряженными электронами (Фрелих, 1950); возникают связанные электронные пары с пониженной энергией, тогда как между отдельными электронами возможны только силы отталкивания.

Таким образом, при взаимодействии микрочастиц, составляющих твердое тело, мы вновь рассматриваем не изолированно отдельные частицы, но весь их коллектив и различные взаимодействия между частицами, вызывающие тепловые, электрические, магнитные, фотоэлектрические, механические явления в твердом теле. Этот коллектив частиц в целом оказывает большое влияние и на явление переноса различных возбуждений в твердом теле.

Задача физической науки состоит в том, чтобы вскрыть существующие в реальном мире закономерности и сформулировать их — обычно в виде математических соотношений между величинами, характеризующими то или иное явление. В настоящее время теории твердого тела сталкиваются с большими трудностями из-за сложности изучаемых объектов, что приводит, в свою очередь, к сложности математических уравнений, описывающих кристалл.

Свойства твердого тела зависят в конечном счете от свойств составляющих его частиц, а также, в еще большей степени, от свойств коллективов частиц, когда индивидуальность частиц теряется; чтобы глубже изучить твердое тело, необходимо рассмотрение его как *коллектива микрочастиц*. Противоречия в строении и взаимодействиях в твердом теле проявляются каждый раз по-разному, в зависимости от того, совокупность каких свойств твердого тела как единого целого исследует теория в каждом конкретном случае (тепловые, элект-

рические, магнитные, механические и другие свойства). Следовательно, в настоящее время возможны различные квантово-механические модели твердого тела.

Единой теории, которая объясняла бы все свойства твердого тела, пока еще нет. Поэтому закономерны гипотезы, пригодные для объяснения некоторого круга явлений. Каждая из них привносит что-то новое, прибавляет новые зерна в наши знания, помогает созданию единой теории твердого тела. Некоторые гипотезы лишь приближенно описывают те или иные явления, происходящие в твердых телах. Эта приближенность выражается, во-первых, в том, что из всех реальных связей выделяются главные, решающие для данной совокупности фактов. Все побочные связи игнорируются, хотя они и могут иметь значение. Такой подход избавляет теорию как от эклектизма, так и от гипертрофирования отдельных признаков. Действительно, если теория принимает во внимание слишком много побочных связей без учета их значимости, то она не сможет решить задачи и получить конкретные результаты, которые можно было бы проверить в эксперименте. Если же абсолютизировать один какой-либо признак и на его основе выводить теорию, то можно прийти к нелепым выводам.

Во-вторых, приближенность современных теорий физики твердого тела, которые создаются при появлении новых фактов или необходимости учета новых связей, заключается в том, что уже в рамках принятой теории, которая отображает лишь часть объективной реальности, приходится делать новые приближения, связанные с решением конкретных задач. Так, современные теории вынуждены ограничиваться исследованием «слабо возбужденных» состояний системы, когда уровни энергии частиц достаточно близки к основному. В этой конкретности и ограниченности наших знаний и заключается относительность теорий, получивших наибольшее распространение в физике твердого тела.

Исторически первым методом изучения твердого тела был термодинамический метод, не учитывавший внутреннее строение исследуемого объекта. Но в отличие от механической теории упругости это был уже физический метод, основанный на трех законах термодинамики. Термодинамический метод не опирался на какие-либо гипотезы о строении твердого тела, поэтому позволил

получить лишь общие выводы, касающиеся свойств твердого тела.

Микроскопические теории, наоборот, исходят из атомно-молекулярного строения вещества и основываются на квантовых законах движения микрочастиц. По самому своему существу эти методы требуют определенных модельных представлений и связаны с целым рядом допущений, которые существенно ограничивают область применения результатов. Но их большое преимущество перед термодинамическим методом заключается в том, что микроскопические методы позволяют понять не только внешнюю сторону процессов, но и внутреннюю их сущность. Как правило, выводы микроскопических теорий проверяются с помощью термодинамической теории, что является своего рода попыткой объединить прерывные и непрерывные свойства материи внешними по отношению к ним средствами.

На рубеже XIX—XX вв. была сделана первая такая попытка. Она состояла в том, что Г. Лоренц и П. Друде пытались развить теорию тех кинетических и термодинамических свойств твердого тела, которые отражают его непрерывность как единого целого, применив классическую статистику Максвелла — Больцмана к газу свободных электронов, которые рассматривались как дискретные части этого единого целого.

Теория Г. Лоренца и П. Друде позволила дать аналитический вывод закона Ома, подтвердить закон Видемана — Франца, устанавливающий связь между тепло- и электропроводностью. Однако она не смогла объяснить два важных факта: величину удельной теплоемкости металла и величину длины свободного пробега электронов. Но это были трудности уже не модельного, а принципиального характера. Действительно, теплоемкость была выведена из теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы, а эта теорема строго следует из статистики Максвелла — Больцмана. Длину свободного пробега достаточно просто можно подсчитать из значений электропроводности — она равна нескольким десяткам межатомных расстояний. Это было необъяснимо с точки зрения электронной теории Лоренца — почему электрон может проходить столь большой путь, не сталкиваясь с ионами? Следовательно, непонятными были даже сравнительно простые явления,

не говоря уже о более сложных проблемах, как магнетизм и силы связи.

Применение квантовой механики к физике твердого тела А. Зоммерфельдом и Я. Френкелем позволило на основе единой схемы объяснить целый ряд свойств кристаллов. Были выявлены такие закономерности твердого тела как коллектива микрочастиц, которые нельзя получить на основе классических представлений. К ним относится, например, понятие об обменной энергии или о зонной структуре электронного спектра.

Односторонними оказались классическая одноэлектронная теория и теория ферромагнетиков Френкеля — Гейзенберга, являющиеся квантовомеханическими теориями. Первая — описывает кинетические явления, так как главным свойством электронов считает их подвижность. Она не могла решить проблему единства прерывности и непрерывности в строении и во взаимодействиях коллектива электронов в целом, поскольку рассматривала свободные электроны как отдельные, не связанные ни друг с другом, ни с полем частицы.

Другая, наоборот, считает электроны неподвижными, но учитывает взаимодействие между ними, так как идеальный электронный газ не может быть ферромагнитным. В ней проблема также оставалась не разрешенной, поскольку система взаимодействующих электронов должна была трактоваться как единый многоэлектронный коллектив, в котором каждый электрон в значительной степени потерял свою «свободу», индивидуальность и его уже принципиально нельзя рассматривать как частицу «идеального» газа (как это делали в случае одноэлектронной модели). Таким образом, ни одна из этих двух квантовомеханических моделей твердого тела не смогла решить проблему единства прерывного и непрерывного в твердом теле.

Не решили ее и так называемые промежуточные методы, объединяющие термодинамические и микроскопические методы. Они искусственно вносят в термодинамическое представление (связанное с непрерывностью) элементы, связанные с дискретностью. Например, с помощью определенных правил в уравнение Шредингера вводят величины из термодинамических представлений.

Развиваемая в последние годы теория магнетизма (Э. Кондон, Н. Ф. Рамзей, С. В. Вонсовский и др.) поз-

волила объяснить энергетический спектр электронов в твердом теле, т. е. получить дискретную характеристику этого объекта материального мира; электрон в данном случае рассматривается как часть определенного коллектива.

В физике твердого тела, наряду с попытками объяснить его свойства с помощью изложенных выше методов, развиваются новые теории, которые ставят задачей на основе строгого анализа исходных уравнений получить свойства, не зависящие от модельных предположений. Эти новые теории можно рассматривать как дальнейшее углубление наших представлений о твердом теле и как возможность совершенно по-новому поставить вопрос о соотношении прерывного и непрерывного в его строении, о характере различных взаимодействий между его частями с учетом их коллективности.

Эти теории связаны с применением метода элементарных возбуждений и метода квазичастиц. Метод элементарных возбуждений частично заимствован у квантовой электродинамики и схож с методом вторичного квантования. Различие заключается в том, что в квантовой электродинамике рассматривается система бесконечного числа частиц, обладающих любым спектром колебаний, а в твердом теле — система многих частиц, энергетический спектр которых ограничен дискретным характером кристаллической решетки. Кроме того, в гамильтониан, в случае системы многих тел, входят только члены, учитывающие взаимодействие между частицами данной системы, тогда как в гамильтониан, в случае квантового поля, входят члены, отражающие, кроме этого, взаимодействие квантов данного поля с какими-либо иными, способными поглощать или излучать первые.

С помощью метода элементарных возбуждений удалось объяснить явления, связанные с распространением теплоты и электричества в твердом теле. Впервые этот метод применили И. Е. Тамм и Я. И. Френкель в 1930—1931 гг. Исследуя распространение катодных лучей через кристалл, Я. И. Френкель обнаружил рассеяние электронных пучков, хотя взаимодействие с отдельными атомами не должно было вызывать рассеяния, так как длина электронной волны больше расстояния между атомами.

Оказалось, что причина кроется в непрерывно меняющихся флуктуациях плотности твердых тел, связанных с тепловым движением атомов; это изменение приводит к тому, что в каждый данный момент тело является неоднородным не только в масштабах, сравнимых с длиной волны, но и значительно больших. Возбуждение системы в данном случае характеризуется появлением некоторых «особых» состояний — локальных изменений плотности, которые волнообразно распространяются по всей решетке.

Энергия теплового движения тела была выражена в нормальных колебаниях кристалла как целого; каждое из них можно разложить на бегущие в разные стороны волны. По аналогии с фотонами (квантами электромагнитного поля) кванты поля колебаний решетки кристалла были названы фононами, а весь кристалл стали рассматривать как объем, заполненный газом фононов. Таким образом, атом как самостоятельная индивидуальная частица растворился в общем поле колебаний, которое проявляет свои дискретные свойства уже как новая частица — фонон, представляющий корпускулярный аспект коллективного колебательного движения всех атомов системы.

Первое же применение этого метода дало положительные результаты. С его помощью были объяснены (с различной степенью приближений) изменения теплоемкости по кубическому закону в зависимости от температуры, инфракрасное поглощение, рассеяние рентгеновских лучей, электропроводимость, плавление, упругие свойства и теплоемкость щелочных металлов. Учет различий между продольными и поперечными колебаниями теплового поля позволил объяснить взаимодействие фонона и электрона (например, в случае изотопного эффекта).

Подобное же рассмотрение было распространено на коллектив электронов. Кулоновские силы, будучи далекодействующими, могут привести к организованному коллективному движению электронов, на которое накладывается их индивидуальное движение. Представим себе, что по какой-либо причине в электронном облаке возникает область разрежения. Окружающие электроны стараются ее заполнить и поддержать плотность постоянной. Существенно, что речь идет здесь не только о

ближних частицах. Происходит некоторое сокращение объема облака, которое приобретает при этом кинетическую энергию и, двигаясь по инерции, создает относительный избыток зарядов в центре. Этот избыток будет компенсироваться за счет расширения облака. Таким образом, силы, способные вызывать малые ускорения электронов на больших расстояниях, приводят к возникновению длинноволновых колебаний плотности электронного облака.

Газ заряженных частиц, помещенных в область с противоположным знаком заряда для поддержания электрической нейтральности (в данном случае — электроны в поле ионов), называется плазмой. Плазменное поле обладает вполне определенной нулевой энергией, которая, по мнению Д. Бома, и является вкладом кулоновских сил, отражающих действие коллектива электронов как целого, в энергию связи в твердом теле. С помощью плазмонов — квазичастиц плазменного поля, которые отражают дискретную сторону коллективного движения электронов, были объяснены явления экранирования в проводниках и полупроводниках, рассеяние электронов проводимости друг на друге, а также на связанных (входящих в состав остовов атомов) электронах, при этом теоретические результаты оказались близкими к опытным данным (Б. Пайнс).

В обоих случаях в системе многих сильно взаимодействующих частиц удалось выделить два типа движения. Во-первых, коллективное упорядоченное движение всей системы в целом, проявляющей при этом прерывные и непрерывные свойства, и во-вторых, индивидуальные беспорядочные движения. При малых возбуждениях коллективные степени свободы системы носят характер упорядоченных колебаний либо плотности, либо плотности заряда. В силу квантовой природы микрочастиц эти колебательные движения квантуются, возникают кванты соответствующих полей, материальными носителями которых являются коллективные взаимодействия микрочастиц — атомов и электронов.

Рассмотренные системы физически совершенно различны. Следовательно, можно предположить, что данные выводы характерны и для *любой* системы многих взаимодействующих частиц. Возбуждение системы проявляется в особых состояниях — «элементарных возбужде-

ниях». Слабо возбужденные состояния квантовой системы многих взаимодействующих частиц можно представить как идеальный газ некоторых квазичастиц, сопоставляемых этим волнам. Идея, высказанная Л. Д. Ландау, нашла поддержку и была предметом исследований Е. Ф. Гросса, Н. Н. Боголюбова, С. В. Вонсовского, Д. Н. Зубарева и других советских ученых.

Так, например, в ферромагнетиках возбуждение системы заключается в изменении направлений магнитных моментов некоторых атомов — в «переворачивании» спинов (спин — одна из важных квантовых характеристик элементарных частиц) у части магнитных электронов, т. е. в появлении некоторых особых состояний (в данном случае спинов одного направления среди спинов противоположного направления), волнообразно распространяющихся по всей решетке. Это явление было объяснено с помощью квазичастиц-ферромагнонов.

Для объяснения некоторых других явлений в твердом теле были введены понятия квазичастиц, связанных с флуктуацией плотности заряда в результате ионизации отдельных узлов решетки («двойки», «дырки»), которые могут свободно распространяться по решетке и переносить по ней электрический заряд. Нарушение однородности распределения электрического заряда в кристалле можно представить при помощи волн возбуждения или экситонов. В этом случае около узлов решетки происходит возбуждение электронов. При этом по решетке может распространяться только либо волна возбуждения без переноса заряда, либо электрон в возбужденном состоянии, переходя от узла к узлу, независимо от наличия там другого валентного электрона.

Представления об экситонах, «двойках», «дырках» помогли объяснить электрические явления в полупроводниках (работа германиевых и кремниевых транзисторов непосредственно связана с тем, что в полупроводниковых кристаллах одновременно существуют электроны и «дырки»), эффект Холла (смещение движущихся электрических зарядов, составляющих ток, в одну сторону под влиянием приложенного магнитного поля), а также явление фотоэффекта.

Все подобные коллективные возбуждения и связанные с ними волны являются таким представлением о твердом теле, которое учитывает единство прерывных и

непрерывных свойств не только в строении элементарных частиц, его составляющих, но и в распространении различных процессов в твердом теле.

Квазичастицы не были обнаружены непосредственно в опыте, как, например, электрон, протон, нейтрон и другие настоящие частицы. Они были «придуманы» на основе опыта физики и развития математической теории, разработавшей до этого способы описания явлений, в которых участвуют реальные частицы. Поэтому возникает вопрос о реальности квазичастиц. Не являются ли они лишь удобным математическим приемом изображения процессов и явлений в твердом теле? Существуют ли квазичастицы как дискретные проявления единого коллектива микрочастиц? Распространяется ли единство прерывных и непрерывных свойств материи в строении составляющих ее частей на взаимодействия между ними?

Надо было доказать существование квазичастиц экспериментами. Это сделал впервые Е. Ф. Гросс и его сотрудники. Они доказали реальное существование одного из типов квазичастиц — экситона. Экспериментаторы наблюдали линии в спектре поглощения кристалла Si_2O при низких температурах, соответствующие экситонным энергетическим уровням. Л. Апкер и Е. Тафт доказали существование экситонов при фотоэлектрическом выходе для кристаллов KI и RbI , а В. Ван Скивер и Р. Хофштадтер в опытах с кристаллами NaI не только доказали их существование, но и их подвижность.

Наиболее убедительным экспериментальным доказательством концепции положительных носителей тока («дырок») является эффект Холла и различные проводимости у германиевых и кремниевых кристаллов.

Существование фононов можно доказать измерением внутреннего трения в твердом теле (взаимодействие макроскопической звуковой волны и «звуковых» волн — фононов), исследуя затухание упругих резонансных колебаний твердого бруска. Изотопный эффект свидетельствует о взаимодействии электрона и фонона.

Для объяснения переноса тепла применяют представления о колебаниях вращательной энергии молекул, например HBr (ротонь). Взаимодействие спиновых магнитных моментов ионов твердых парамагнетиков также в принципе может переносить тепло (ферромагноны). Наконец, А. Ф. Иоффе в 1952 г. объяснил anomalно

высокую теплопроводность некоторых полупроводников при высоких температурах переносом тепла экситонами, а Д. И. Зубарев доказал возможность взаимодействия электронов проводимости и ферромагнетиков.

К сожалению, методом квазичастиц не смогли пока объяснить таких важных явлений, как диффузия в конденсированных телах, фазовые превращения. Определенные перспективы для трактовки этих явлений дает теория плазмы. В отличие от метода квазичастиц, эта теория рассматривает почти свободное движение каждой частицы, учитывая действия других частиц в постепенном изменении ее скорости. Попытка решения проблемы прерывного и непрерывного в строении твердого тела при помощи этого метода находит свое отражение в необходимости, с одной стороны, введения понятия локализованной частицы, сохраняющей свою индивидуальность и независимость от характера физической связи с окружающей средой и, с другой стороны, предположения о том, что частица обладает такими свойствами, которые требуют введения для нее пространственно-протяженного непрерывного образа, связанного с учетом дальних взаимодействий, взаимодействия с окружающим частицу полем.

Прерывность и непрерывность в теории плазмы связываются в основном только с динамической характеристикой и проявляются в виде возможностей действия одной частицы (дискретность) на фоне взаимодействия ее со всеми другими частицами, образующими потенциальное поле (непрерывность). В отличие от квантовомеханических методов, основанных на признании объективно существующего единства прерывных и непрерывных свойств самих частиц и их систем, теория плазмы рассматривает это единство с точки зрения математических способов описания движения частиц. В отличие от теории элементарных возбуждений, предполагающей единство прерывных и непрерывных свойств в сущности самих микрочастиц, она не отражает особой специфики микрочастиц, составляющих твердое тело.

Таким образом, рассмотренные нами физические теории твердого тела решают проблемы единства прерывного и непрерывного, целого и части, макро- и микросвойств, проблемы взаимодействия. Каждая из них имеет свою сферу приложения, обусловленную спецификой

тех свойств твердого тела, которые интересуют ученого в каждом конкретном случае. Но совершенно ясно, что представление о твердом теле как совокупности ионов, расположенных в узлах кристаллической решетки, и электронов, взаимодействия между которыми определяют различные свойства твердого тела, есть лишь первое приближение к истинному строению твердых тел и к их свойствам.

Существующие квантовомеханические модели твердого тела («обменная», « $s=d$ обменная», «полярная», «полярно-экситонная») не могут пока объяснить все процессы, протекающие в твердом теле, особенно в металле. Так, например, «полярно-экситонная» модель, в которой учитывается наличие сразу трех типов элементарных возбуждений — «двоек», «дырок» и экситонов, — в своей современной форме описывает не металл, а полупроводник с атомной решеткой. Создание новых квантовомеханических моделей, способных изучать возбуждения в металлах, будет новым шагом вперед.

Дальнейшее углубление знаний о твердом теле требует учета специфики микрочастиц, его составляющих, противоречивых свойств коллективов этих частиц, корпускулярно-волнового характера распространения различных процессов в твердом теле. Все это наиболее последовательно учитывают метод элементарных возбуждений и метод квазичастиц. Пока они встречают математические трудности. Но эти методы имеют огромное будущее. Они помогут проникнуть не только в сущность процессов в твердых телах, но и в сущность самих микрочастиц и физических полей, полнее раскрыть диалектическое единство прерывных и непрерывных свойств в строении твердого тела и происходящие в нем взаимодействия.

ПРОТИВОРЕЧИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ В КОСМИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

П. А. ФЕДЧЕНКО

Важнейшей задачей в области изучения неживой материи является обобщение современных достижений естествознания на основе всеобщих законов диалектического материализма. Исследования проблем развития неживой материи ведутся в двух направлениях. Изучаются, во-первых, процессы перехода от неживой материи к живой на поверхности нашей планеты, и, во-вторых, — процессы развития космической материи.

Исторически идея развития неживой природы возникла и получила наиболее полное обоснование в космогонии — науке о происхождении и развитии небесных тел и систем. Ф. Энгельс указывал, что первую брешь в метафизическом воззрении на природу пробили гипотезы И. Канга и П. Лапласа о происхождении солнечной системы. Исследование свойств и взаимодействий космических систем неизбежно приводит к вопросу об эволюции космической материи. Академик В. А. Амбарцумян подчеркнул эту методологическую особенность астрономических исследований: «Сказать, что проблема происхождения и развития небесных тел является лишь одной из важнейших в астрономии, означало бы недооценивать ее значение. В самом деле, основной целью всех астрономических и астрофизических исследований является познание природы небесных тел и тех систем, которые они составляют. Однако диалектический материализм учит, что глубокое познание явлений природы становится возможным лишь тогда, когда эти явления

изучаются в их изменениях и развитии... Отсюда следует, что космогоническая проблема является основной задачей астрономии и астрофизики. Каждая частная, но имеющая принципиальное значение, астрономическая задача неизбежно приобретает в процессе решения космогонический смысл»¹.

Астрономическая наука располагает значительными наблюдательными и особенно теоретическими данными о структуре, взаимодействии и изменении космических систем, обобщение которых поможет созданию хотя-бы предварительной картины развития космической материи в обозреваемой части мира.

Данная статья посвящена противоречию *устойчивости и изменчивости* в космических структурах различных уровней. Это противоречие развития космической материи обусловлено соотношением противоположно действующих сил: одни стремятся сохранить систему неизменной, другие стремятся ее разрушить.

Исторически проблема развития космической материи в наивной форме возникла еще в древней философии, однако за отсутствием конкретных научных данных она не получила обоснования. Механистический материализм нового времени исходил из представления об абсолютной неизменности природы, что в неявной форме было утверждением абсолютной устойчивости материальных систем и отрицанием качественной их изменчивости.

Согласно законам механики, материя полагалась пассивной, не способной к самодвижению, покой считался естественным ее состоянием. Движение небесных тел нашей солнечной системы и даже Галактики естествоиспытатели стремились объяснить только при помощи тяготения, думая, что притяжение есть основное свойство материи.

Великой заслугой Канта и Лапласа было то, что они впервые ввели в своих гипотезах силы отталкивания, противостоящие силам тяготения, поэтому их гипотезы и вошли в фонд классической науки. Однако сами силы отталкивания они рассматривали механически как центробежные силы вращения, что и обусловило несостоя-

¹ Сб. «Философские проблемы современного естествознания». М., 1959, стр. 268.

тельность этих гипотез в объяснении многих закономерностей солнечной системы, открытых в XIX в.

С возникновением термодинамики идея развития космической материи прогрессировала: тепловое движение стали рассматривать как отталкивательную силу. Приобретение солнечной системой стационарной устойчивости, по Гельмгольцу, обусловлено тем, что в процессе гравитационного сжатия первоначального облака и вытекающего из него обособления Солнца и планет система потеряла $^{453}/_{454}$ первоначального отталкивания в форме теплового излучения, а силы притяжения получили перевес. Распространение этого положения на всю Вселенную привело к убеждению будто все виды энергии постепенно превращаются в тепловую, и когда последняя равномерно рассеется в мировом пространстве, наступит тепловая смерть Вселенной. Теория тепловой смерти Вселенной, таким образом, также исходит из метафизического представления о пассивности материи и о преобладании во Вселенной сил тяготения. Даже Л. Больцман, критикуя эту теорию, полагал материю в целом пассивной и в своей флюктуационной гипотезе доказывал лишь закономерность отклонений от пассивного состояния.

Ф. Энгельс, критикуя односторонность метафизических представлений, писал: «... притяжение и отталкивание столь же неотделимы друг от друга, как положительное и отрицательное, и поэтому уже на основании самой диалектики можно предсказать, что истинная теория материи должна отвести отталкиванию такое же важное место, как и притяжению, и что теория материи, основывающаяся только на притяжении, ложна, недостаточна, половинчата»².

Но, отвергая метафизическую концепцию в целом, необходимо указать на некоторые позитивные моменты, содержащиеся в ней. Это прежде всего, постановка проблемы необратимости в развитии космической материи, которая в настоящее время является одной из основных в материалистической космогонии и ждет своего диалектического решения. Далее мы увидим, что «преклонение» ученых прошлого перед тяготением также не лишено некоторых оснований, поскольку оно действитель-

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 558—559.

но играет важную, даже ведущую роль во всех космических процессах.

Основой исследования противоречия устойчивости и изменчивости космических систем, на наш взгляд, должно быть раскрытие роли тяготения в космических процессах. Тяготение обладает одной особенностью, отличающей его от всех остальных известных нам природных сил. Это — его универсальность: там, где есть материальные тела, там действует тяготение, от него нельзя избавиться, его нельзя «выключить». В отдельных микропроцессах тяготение существенной роли не играет, но совокупные микропроцессы в космосе в конечном счете определяются тяготением. Попытаемся под этим углом зрения рассмотреть соотношение устойчивости и изменчивости космических структур.

Понятия устойчивости и изменчивости в применении к космическим структурам относительны, поскольку всякая конечная материальная система непрерывно изменяется, но в то же время обладает относительным покоем, сохраняет в течение какого-то времени свою качественную определенность. В космогонии и астрофизике эта относительность удачно отражена в том, что для характеристики темпа изменений во времени применяются понятия *стационарных*, т. е. длительное время остающихся примерно в одном и том же состоянии, и *нестационарных*, т. е. относительно быстро меняющих свое состояние космических тел, систем, процессов. Понятия стационарности и нестационарности мы будем в определенном смысле считать синонимами понятий устойчивости и изменчивости.

Наиболее стационарными, устойчивыми космическими телами являются планеты, а наиболее стационарными космическими системами — планетные системы. Так, наша солнечная система за 5—6 миллиардов лет существенно не изменилась и за такое же время в будущем существенно не изменится. Устойчивость планет обусловлена подавляющим преимуществом в них сил тяготения над тепловыми отталкивательными силами, поскольку в холодных космических телах нет источников тепловой энергии, в них отсутствуют ядерные реакции. В планетных системах тяготение и центробежные силы вращения находятся в устойчивом равновесии, что обуславливает их стационарность. Однако и в планетных системах происхо-

дят некоторые изменения, связанные главным образом с особенностями механического движения в мегамире.

В соответствии с данными естествознания XIX в. Ф. Энгельс отмечал: «Всякое движение связано с каким-нибудь перемещением — перемещением небесных тел, земных масс, молекул, атомов или частиц эфира. Чем выше форма движения, тем незначительнее становится это перемещение. Оно никоим образом не исчерпывает природы соответствующего движения, но оно неотделимо от него»³.

Это положение нашло новое подтверждение в достижениях современной физики микромира и астрофизики. Вместе с тем выявился ряд уточняющих и расширяющих указанную мысль положений.

В области микромира изменение одной из главных характеристик механического движения — относительной скорости — приводит к определенному изменению физического состояния микросистемы: с возрастанием скорости возрастает масса, замедляется темп процессов, уменьшается пространственная протяженность (в направлении движения) движущейся системы относительно «неподвижной». Возрастание скорости движения электрона в ускорителе на определенной границе приводит к тому, что он становится генератором излучения. Происходит это потому, что движение микрочастиц необходимо связано с соответствующими полями и от этой связи нельзя отвлечься. Значительность указанных релятивистских эффектов и создает качественное отличие микромира от макромира, в котором перемещение тел непосредственно не вызывает систематических изменений их качественных состояний.

Главной особенностью движения в мегамире, на наш взгляд, является органическое единство всех физических его форм. Если в макромире пространственные масштабы, сравнимые с геометрическими размерами человека, и временные промежутки, сравнимые с продолжительностью жизни человека, допускают рассмотрение основных форм движения более или менее независимо друг от друга, то гигантские по масштабам пространственно-временные отношения мегамира как бы «сливают» их в еди-

³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 392.

ный поток непрерывного эволюционного изменения космической материи. Эти изменения прежде всего связаны с механическим движением, о котором астрономия располагает наибольшими сведениями и которое неразрывно связано с гравитацией.

Так, уже в 1754 г. И. Кант в работе «О приливах и отливах» отмечал, что приливное трение, возникающее за счет притяжения водных масс Земли Луной, постепенно замедляет осевое вращение Земли, что в конце концов приведет последнюю к качественно иному состоянию. Подобные явления в той или иной мере есть в любой космической системе, элементы которой имеют взаимное и осевое вращения. Значит, даже строго стационарное механическое движение космических систем, подобное движению системы Земля—Луна, сопровождается небольшими, но непрерывными физическими изменениями. Суммарное во времени механическое движение, таким образом, имеет эволюционное последствие, которое тем значительнее, чем выше порядок космической системы.

Однако в целом взаимное расположение и движение элементов планетных систем находится в устойчиво равновесном состоянии; этот уровень космических структур является сугубо стационарным и нельзя ожидать каких-либо существенных качественных изменений в них в результате только внутренних взаимодействий. Такие изменения планетных систем могут произойти лишь в связи с изменениями более обширных и сложных космических структур, в состав которых они входят.

Другой тип космических структур, напоминающих планетные системы характером гравитационных связей,— различные звездные системы внутри галактик: двойные, тройные, кратные и более многочисленные, содержащие до нескольких сотен членов. Звезды в галактиках, как правило, входят в какие-либо группы, каждая из них обладает особенностями взаимного расположения и движения составных элементов, в зависимости от особых условий их совместного происхождения. Но при всем многообразии этих различий можно выделить, на наш взгляд, две основные группы звездных систем, взяв критерием разделения различный характер противоречия устойчивости и изменчивости.

Первая группа — относительно небольшая часть двойных звезд и звездных скоплений типа Плеяд и Гиад — это устойчивые системы, пребывающие примерно в одном и том же состоянии миллиарды лет. Лишь в весьма редких случаях пара может разрушиться, если сблизится с какой-либо посторонней звездой и произойдет затрата гравитационного взаимодействия на разрыв пары. Теоретическая механика допускает возможность и обратного процесса: случайное сближение трех независимых друг от друга одиночных звезд может вызвать такое их взаимодействие, при котором одна из звезд получит значительную часть энергии относительного движения двух остальных и удалится от них, а оставшиеся образуют пару. Такие процессы диссоциации в принципе возможны, но они чрезвычайно редки. Расчеты показали, что в галактиках нет равновесия между этими двумя процессами, поскольку отношение числа двойных звезд к числу одиночных в десятки миллионов раз превосходит равновесное значение. Следовательно, звезды в галактиках существуют более короткое время, чем необходимо для установления диссоциативного равновесия.

В звездных скоплениях перемещение звезд друг относительно друга приводит к тесным сближениям и обмену энергиями между отдельными звездами. При некоторых сближениях прирост кинетической энергии одной из звезд может оказаться настолько большим, что она преодолет притяжение всего скопления и уйдет из него. С течением времени скопление становится беднее и в конце концов распадается на одиночные звезды. Однако этот распад происходит в течение миллиардов лет, поэтому рассматриваемые скопления можно считать весьма устойчивыми. Звезды, из которых состоят скопления, также являются стационарными, — в течение миллиардов лет они почти не меняют своего состояния.

Вторую группу составляют так называемые открытые звездные скопления и звездные ассоциации, которые характеризуются неустойчивостью. Открытые звездные скопления состоят из десятков, сотен, а некоторые из тысяч звезд. Каждое скопление движется как целое вокруг центра Галактики, а каждая звезда движется внутри скопления под совокупным действием остальных

звезд данной системы. В этих скоплениях много карликов, а также горячих нестационарных звезд, что свидетельствует о их молодости. В результате тесных взаимных сближений отдельных звезд некоторая их доля получит кинетическую энергию, достаточную для ухода из скопления. Постепенно происходит полный распад скоплений: богатых звездами — за несколько миллиардов лет, бедных звездами — за несколько миллионов лет.

Еще более неустойчивы — звездные ассоциации. Советские астрономы подробно изучали многие О-ассоциации — рассеянные группы гигантских горячих звезд высокой светимости и Т-ассоциации — рассеянные группы карликовых относительно холодных переменных звезд низкой светимости. Теоретическое изучение строения ассоциаций показало, что пространственная концентрация звезд в них мала для сохранения стационарного состояния силами внутреннего взаимного притяжения. Более того, возмущающее гравитационное воздействие галактического центра должно полностью разрушить ассоциации за несколько десятков миллионов лет.

Последующий анализ измеренных движений звезд в ассоциациях убедил в том, что звездные ассоциации претерпевают распад, потому что входящие в них звезды имеют большие радиальные скорости движения от некоторого центра, где они, по-видимому, совместно возникают. Определение скоростей расширения ассоциаций и исследование физических свойств входящих в них звезд показали, что эти структуры имеют возраст от одного до пяти миллионов лет — это в тысячи раз меньше возраста Галактики.

В чем же кроется причина устойчивости одних звездных скоплений и неустойчивости других? На наш взгляд, это можно объяснить лишь различным их происхождением. Звездные ассоциации и открытые звездные скопления имеют, по-видимому, взрывное происхождение: некоторые исходные массивные сверхплотные тела внутренними силами отталкивания разрываются на части, каждая из них может либо стать отдельной звездой ассоциации или скопления, либо претерпеть вторичный взрыв и образовать двойную или кратную систему, также входящую в возникающую структуру. Элементы возникших скоплений радиально разлетаются в резуль-

тате полученного при взрыве первоначального импульса до полного распада всей системы.

Устойчивые звездные скопления, по-видимому, образуются из холодной межзвездной газопылевой материи, благодаря процессам гравитационной конденсации, в ходе которой элементы образующихся скоплений не получают систематических радиальных скоростей. Поэтому такие скопления претерпевают распад в течение очень больших промежутков времени только за счет обмена энергиями при случайных сближениях звезд.

Галактические системы в целом являются, как правило, изолированными друг от друга и весьма устойчивыми образованиями. Во всяком случае, данных о качественных изменениях галактик за время существования обозреваемой нами части мира нет. Однако это не значит, что галактики вообще не претерпевают никаких изменений, но об этом — несколько ниже.

Подавляющее большинство галактик входит в состав скоплений, групп и кратных систем — это следующий по сложности уровень космических структур. Данные наблюдений показывают, что в каждом скоплении галактик имеется некоторая дисперсия скоростей, связанная с внутренними движениями в скоплениях. Соотношение устойчивости и изменчивости этих систем определяется значением полной их энергии. Если полная энергия системы отрицательна ($E = T + U < 0$, где T — кинетическая и U — потенциальная энергия), то система находится в стационарном устойчивом состоянии. Исследования ряда скоплений галактик показали, что кинетическая энергия внутренних движений их членов во много раз превосходит вероятные значения потенциальной (гравитационной) энергии. Это значит, что полная энергия таких скоплений является положительной и они со временем должны рассеяться в пространстве. Скопления галактик являются, по-видимому, неустойчивыми системами, что свидетельствует о совместном происхождении составляющих их элементов. Объяснение этой неустойчивости нужно искать в особенностях их происхождения.

Следующим уровнем космических структур является Метагалактика, изучением строения и эволюции которой занимается космология. Здесь мы вновь обнаруживаем противоречие устойчивости и изменчивости.

До недавнего времени бесконечную Вселенную представляли как неограниченную иерархическую последовательность космических систем все возрастающего пространственного объема и качественной сложности, между которыми предполагалась единая функциональная связь. В настоящее время такое представление противоречит новым данным астрономии. С переходом ко все большему космическим системам средняя плотность вещества уменьшается, следовательно, уменьшается и энергия гравитационных связей в расчете на единицу массы. Напротив, кинетическая энергия элементов космических систем с возрастанием их порядка увеличивается. Таким образом, силы, обеспечивающие целостность систем все возрастающего порядка, уменьшаются, а силы, стремящиеся разрушить системы, увеличиваются, и на определенной границе критерий устойчивости следующей системы будет нарушен.

В соответствии с этими данными бесконечную Вселенную можно представить как совокупность более или менее автономных систем, одной из которых в нашем ближайшем «окружении» является Метагалактика. Значит, относительная устойчивость космических систем, которая обусловлена тяготением, простирается лишь до систем, подобных Метагалактике, а за их пределами господствует неустойчивость.

В настоящее время мы не знаем границ Метагалактики, так как современные телескопы позволяют проникать лишь на расстояния, в пределах которых еще не отмечается уменьшение пространственной плотности галактических систем. Доступная наблюдениям часть Метагалактики простирается до пяти-шести миллиардов световых лет и называется Астрономической Вселенной или мегамиром. Исследование противоречия устойчивости и изменчивости мегамира в целом наиболее интересно, поскольку качественные изменения Астрономической Вселенной в конечном счете определяют качественные изменения систем более низких уровней.

Еще в 1917 г. бельгийский астроном де Ситтер, получив одно из решений уравнений общей теории относительности, высказал предположение о расширении пространства Вселенной. В 1922—1924 гг. советский математик А. А. Фридман дал более фундаментальное решение уравнений тяготения и один из его выводов также гово-

рил о расширении Астрономической Вселенной. Открытие красного смещения в спектрах внегалактических туманностей привело ученых к твердому убеждению, что мы живем в расширяющемся мире. В. А. Амбарцумян отмечает: «Наши знания о движениях в мире галактик ограничиваются сведениями о лучевых скоростях приблизительно тысячи галактик. Никаких сведений о тангенциальных скоростях мы не имеем... Важнейшим фактом, установленным на основании сведений о лучевых скоростях галактик, является расширение Метагалактики.

Выведенный из эмпирических данных закон Хаббла, соблюдающийся с точностью до небольших флюктуаций, для значений, доходящих почти до 2 млрд. парсек, говорит о приблизительной однородности наблюдаемого расширения. Все попытки найти вместо Доплер-эффекта какое-нибудь другое объяснение красному смещению оказались искусственными и безрезультатными. Поэтому при рассмотрении всех вопросов, касающихся природы и особенно эволюции Метагалактики, мы должны учитывать явление расширения»⁴.

Факт расширения свидетельствует, по-видимому, о преобладании в Метагалактике в настоящее время отталкивания над притяжением. Естественно встает вопрос: каков характер этого расширения и что ожидает Астрономическую Вселенную в будущем? Экстраполяция нынешнего расширения в будущее привела ряд ученых к идеалистическим выводам. По мнению автора теории расширяющейся Вселенной Г. Лемэтра, американского астронома Г. Гамова, английских астрономов Дж. Джинса, А. Эддингтона и других, расширение происходит быстрыми темпами и постепенно скорости взаимного удаления галактик станут соизмеримыми со скоростью света. Тогда галактики станут изолированными системами, поскольку они будут разбегаться со скоростями, близкими к скоростям распространения гравитационного и электромагнитного действия. Но в изолированных системах процессы идут в соответствии со вторым законом термодинамики: более горячие тела отдают свое тепло телам более холодным, пока температура не выравнивается во

⁴ «Вопросы космогонии», т. VIII. М., 1962, стр. 11.

всей системе. Таким образом, в будущем каждую галактику и всю Вселенную ожидает тепловая смерть.

Такой мистический вывод, являющийся составной частью современного варианта теории тепловой смерти Вселенной, материалистическая философия всегда отвергала и отвергает. Этот вывод опирается на господствовавшее до недавнего времени в космологии представление, будто скорость расширения в прошлом и настоящем одинакова, а постоянная в законе Хаббла свидетельствует якобы о возрастании скорости разбегания галактик на 75 км/сек на каждый миллион парсек расстояния. Основанные на этом представлении расчеты показывали, что примерно 12 млрд. лет назад мегамир был сосредоточен в очень малой пространственной области с плотностью материи более ядерной и представлял собой «ядерную каплю». Однако общий вывод о будущей судьбе мира не соответствовал положениям материалистической философии. Видимо, в конкретных космологических данных была какая-то ошибка. Теоретическое обобщение новых наблюдательных данных подтвердило такое предположение.

Прежде всего наблюдениями были недавно обнаружены объекты, возраст которых превышает 12 млрд. лет, т. е. они старше мегамира в целом. Это открытие указывает на неравномерность расширения в прошлом и настоящем. Еще более существенным является исследование лучевых скоростей некоторых космических объектов. Американский астроном Сендедж на Сольвейской конференции в 1958 г. отметил отклонение от закона Хаббла: отстоящие от нас на один миллиард световых лет группы галактик удаляются со скоростями, на 10 000 км/сек превышающими те скорости, которые должны были быть в случае соблюдения линейной зависимости между расстояниями и скоростями удаления.

Отсюда ряд астрофизиков, в том числе Сендедж, Шкловский и другие, сделали вывод, что в прошлом мегамир расширялся быстрее, чем теперь. Следовательно, расширение замедляется с определенной скоростью и в конце концов может смениться сжатием. Возражая против старых взглядов, И. С. Шкловский пишет: «Куда естественнее считать, что в прошлом скорость разлета галактик была меньшей. В настоящее время космология располагает серьезными аргументами в пользу пред-

положения, что Вселенная не расширялась «от точки», а как бы пульсирует между конечными пределами плотности»⁵. Причиной последующего сжатия мегамира, по-видимому, из известных нам сил может быть только тяготение: сила первоначального импульса со временем исчерпает себя, тяготение получит перевес и начнется очередной период сжатия, который в свою очередь сменится новым периодом расширения.

Вывод о пульсации мегамира требует экстраполяции нынешнего расширения в прошлое и вскрытия причин этого расширения. Впервые такую экстраполяцию провел Г. Лемэтр в созданной им теории расширяющейся Вселенной. Основываясь на законе Хаббла, Лемэтр вычислил, что несколько миллиардов лет назад вся материя Вселенной была сосредоточена в весьма ограниченном объеме и находилась в состоянии сверхвысокой плотности. По неизвестной причине сверхплотная Вселенная взорвалась, первичная материя разорвалась на отдельные сгустки, которые начали удаляться друг от друга. На определенной стадии этого расширения диффузная материя в сгустках сконденсировалась в звезды — так возникли галактики.

Подобные расчеты и рассуждения вполне могут служить рабочей гипотезой для научного исследования процессов эволюции мегамира, но многие ученые дополняют их такими положениями, которые всей концепции придают идеалистический смысл. Так, предполагается само собой разумеющимся, что речь идет о всей Вселенной, а не о наблюдаемой ее части, и сверхплотному начальному состоянию всей Вселенной приписывается абсолютный покой. Тогда переход от состояния покоя к расширению выглядит как акт творения, что в явной форме и выражают некоторые ученые. Достаточно сказать, что Папа Пий XII в речи «Доказательства бытия бога в свете современного естествознания», произнесенной им перед ватиканскими академиками в 1951 г., цитировал известного английского астронома Эдмунда Уиттекера: «...была эпоха, лежащая приблизительно от 1 до 10 млрд. лет назад, до которой космос существовал, если он вообще существовал, в том виде, который должен быть совершенно отличным от всех известных нам ныне состояний.

⁵ И. С. Шкловский, Вселенная, жизнь, разум. М., 1962, стр. 62.

Здесь наука стоит у своих границ. Ничего не теряя, мы можем предположить, что в этот момент времени имело место сотворение космоса»⁶.

В таких рассуждениях нет ответа на вопрос о причинах нынешнего расширения мегамира. И найти его во взаимодействиях существующих в настоящее время космических тел и систем невозможно, ведь галактики и звездные системы внутри галактик, с точки зрения современной астрономии, являются относительно независимыми (изолированными). Следовательно, причину настоящего состояния мегамира надо искать в его предшествующих состояниях. Из наблюдаемого ныне расширения логически неизбежно следует вывод о том, что объем мегамира в прошлом был меньше, а плотность космической материи больше. Приняв за рабочую гипотезу положение о сверхплотном состоянии космической материи мегамира в прошлом, рассмотрим под этим углом зрения некоторые результаты теоретических исследований.

Если исходить из предположения, что нынешнему расширению предшествовало сжатие мегамира, то теоретические расчеты показывают: при плотности менее $1,28 \cdot 10^7$ г/см³ вещество должно представлять газ, состоящий из протонов и электронов; при дальнейшем увеличении плотности число протонов растет гораздо медленнее, чем число нейтронов и при плотности более $2 \cdot 10^8$ г/см³ нейтронов будет во много раз больше, чем протонов и электронов. При этих плотностях вырожденный газ практически можно рассматривать как нейтронный. При плотности $1,1 \cdot 10^{15}$ г/см³ появляются первые гипероны, а при дальнейшем ее возрастании и другие более тяжелые частицы. При плотностях порядка 10^{16} г/см³ получается барионный газ, представляющий смесь нуклонов, гиперонов и изобаров нуклонов, причем концентрации различных барионов имеют один и тот же порядок величины. При плотностях барионов, превышающих $5 \cdot 10^{16}$ г/см³, расстояния между барионами весьма малы, вследствие чего между ними возникают очень большие отталкивательные силы. С дальнейшим увеличением плотности относительное число высших гиперонов будет

⁶ В. Холличер. Природа в научной картине мира. М., 1960, стр. 248.

возрастать, а при некоторой плотности становится возможным существование пи-мезонов, составляющих Бозе-газ. Вместе с тем будут уменьшаться расстояния между частицами и, следовательно, будут возрастать и отталкивательные силы внутри сжимающейся массы⁷.

Таким образом, в процессе сжатия мегамира, предшествовавшего современному его расширению, гравитационная энергия сжатия постепенно превращалась в потенциальную энергию взаимодействия элементарных частиц. В сверхплотном состоянии материя непосредственно состояла из совокупности элементарных частиц, между которыми, вследствие их близости друг к другу, действовали громадные силы газового отталкивания. На определенной границе сжатия эти силы микровзаимодействий могли привести к взрыву мегамира и превращению потенциальной энергии сверхплотного состояния в кинетическую энергию разбега отдельных сгустков, возникших при взрыве.

Относительно малые пространственные размеры мегамира в прошлом и громадная его масса обусловили преобладание гравитационных сил над всеми другими известными нам силами. Силы электрического взаимодействия, по-видимому, не могли играть в то время существенной роли; В. А. Амбарцумян показал, что концентрации различных барионов в сверхплотном состоянии должны иметь один и тот же порядок величины, следовательно, в целом первичное состояние можно считать электрически нейтральным. Мегамир поэтому мог представлять собой гигантскую гиперонную звезду.

В равновесных гиперонных звездах тяготение в каждой точке уравнивается внутренним давлением ядерного газа — до $5 \cdot 10^{28}$ атмосфер. Если масса гиперонной звезды больше равновесной, она неизбежно должна взорваться с выделением огромного количества энергии — приблизительно 20% энергии покоя звезды переходит в электромагнитное и тепловое излучения. Масса мегамира превышала равновесную, поэтому он должен был взорваться с гигантской силой, что и положило начало взаимному радиальному удалению отдельных сгустков.

⁷ См. В. А. Амбарцумян. Об эволюции галактик.— «Научные труды», т. II. Ереван, 1960, стр. 353—354.

Таков наиболее простой вариант объяснения динамики начального состояния мегамира; он предполагает определенное соотношение сил гравитации и противоположных им сил газового отталкивания. Но в этом случае остается неясным возникновение наблюдаемого вращательного движения космических тел и их систем всех уровней.

Исследования К. Ф. Огородникова в 1958 г. показали, что Метагалактика вращается вокруг некоторого центра как целостная система с периодом примерно 100 млрд. лет. Учитывая закон сохранения момента количества движения, нельзя игнорировать факт вращения мегамира при рассмотрении его эволюции. В прошлом, когда размеры мегамира были значительно меньше современных, скорость его вращения была гораздо большей, а значит, и центробежные силы играли более существенную роль в изменении состояния космической материи. Возможно, что увеличение скорости вращения при сжатии мегамира было одной из основных причин, наряду с внутренним газовым давлением, разрыва первичной материи на отдельные сгустки и их взаимного удаления. Исследование этого варианта, на наш взгляд, могло бы дать некоторые сведения о современных тангенциальных скоростях галактик, о которых пока нет ни наблюдательных, ни теоретических данных.

Рассмотренные теоретические исследования позволяют объяснить не только наблюдаемое расширение мегамира, но и многие процессы в космических системах менее сложных уровней. Вещество сверхплотного мегамира было неоднородно: в центре громадное по массе ядро, состоящее из гиперонов, пионов, некоторого количества нуклонов и небольшого количества мезонов и электронов; следующий к периферии слой содержал в основном нейтроны; далее ядра атомов и электроны; внешний слой мог быть из атомов.

При взрыве произошло разделение ядра и гиперонные сгустки стали удаляться друг от друга, а рассеянное в пространство вещество периферийных слоев могло образовать часть межгалактической среды. В каждом гиперонном сгущении силы тяготения стали меньше, чем в первоначальном состоянии, и потому они претерпевали дальнейшую эволюцию: эти сгущения делились на менее массивные сгущения, а из их ядер весьма интенсивно

истекало вещество, которым пополнялось межгалактическое пространство.

Эти положения подтверждаются данными наблюдений так называемых взаимодействующих галактик. Между компонентами многих таких галактик наблюдаются хвосты и перемиčky столь же устойчивые, как и спиральные ветви у отдельных галактик, причем природа этих хвостов и перемиček явно не приливная, не связанная с гравитационным взаимодействием соответствующих галактик. Б. А. Воронцов-Вельяминов, изучавший подобные объекты, отмечает: «Нам представляется более вероятной концепция, по которой в кратных галактиках составляющие возникают совместно в непосредственной близости друг к другу и расходятся в процессе своего формирования. Между ними возникает иногда какого-то рода отталкивание, ведущее к их взаимному удалению, вопреки тяготению... Эти явления отталкивания во взаимодействующих галактиках должны быть родственны явлениям, ведущим к взаимному удалению галактик в группах»⁸.

Звезды в галактиках могли образоваться в связи с дальнейшим делением сверхплотных протозвезд и выбросом материи из ядер галактик. В. А. Амбарцумян полагает, что наблюдающиеся особенности строения некоторых радиогалактик, в частности радиогалактики Дева А, позволяют сделать вывод: «Наряду с делением ядер галактик в природе могут происходить процессы выбросов из ядер галактик относительно небольших масс. Эти выброшенные массы могут в короткие сроки превращаться в конгломераты, состоящие из молодых нестационарных звезд, межзвездного газа и облаков частиц высокой энергии»⁹. Таким образом, процесс образования галактик и их групп, а также многих звездных скоплений внутри галактик и части межзвездного вещества, вряд ли можно в настоящее время объяснить, не привлекая гипотезу о первоначальном взрыве исходной сверхплотной материи.

Процесс звездообразования в истории космогонии связывался с гравитационной конденсацией разреженной

⁸ «Вопросы космогонии», т. VIII, стр. 30.

⁹ В. А. Амбарцумян. Об эволюции галактик.— «Научные труды», т. II, стр. 314.

газопылевой материи и воплощался в небулярных гипотезах. Такова, например, точка зрения С. В. Пикельнера, но в ней есть важный изъян: она не объясняет, как возникло разреженное состояние космической материи и как его совместить с наблюдаемым расширением Метагалактики; не отвечает на вопрос, почему космическая материя состоит преимущественно из водорода? Поэтому более рациональным представляется мнение, согласно которому процесс звездообразования внутри галактик шел двумя путями: на первых стадиях звезды возникали преимущественно из сверхплотных протозвезд; в менее интенсивной степени этот процесс продолжается и в настоящее время, чем, по-видимому, и можно объяснить появление наблюдаемых распадающихся молодых звездных ассоциаций; когда же возникла, как описано выше, газовая межзвездная среда, из нее стали возникать звезды путем гравитационной конденсации.

Может быть, этим можно объяснить различие так называемых первого и второго типов звездного населения. Мегамир в период его расширения развивается в двух направлениях: с одной стороны, происходит расчленение сверхплотной материи, в ходе которого возникают системы галактик, а внутри последних образуются звезды; эти процессы сопровождаются возникновением разреженной межгалактической и межзвездной материи; с другой стороны, усложняется физико-химический состав космической материи в результате синтеза элементарных частиц в ядра атомов. Рассмотрим этот второй путь эволюции.

В период сжатия мегамира и возрастания внутреннего давления газа энергетические условия в центральных его областях складываются так, что энергетически выгодным является существование гиперонов и других тяжелых частиц; последовательное же взрывное расчленение исходной материи на отдельные сгущения устраняет такие условия, поскольку внутреннее давление в каждом из сгустков становится меньше. Постепенно материя из гиперонного состояния переходит в водородное, которое является исходным для процессов звездообразования.

Я. Б. Зельдович исследовал эту проблему и пришел к заключению, что энтропия начального (по отношению к процессам звездообразования) состояния должна была быть равной нулю, а положительный лептонный заряд

равен плюс двум, т. е. на каждый протон приходится один электрон и одно нейтрино. Подобный выбор начальных условий приводит к дозвездному веществу, состоящему из чистого водорода. Вывод таков: «Гипотеза, согласно которой в качестве исходного вещества для звездной стадии эволюции берется холодный чистый водород, вполне согласуется с современными астрофизическими представлениями»¹⁰.

Звездная эволюция определяется необратимыми процессами усложнения химического состава космической материи в результате ядерных реакций. Ядерные реакции в стационарных звездах обуславливают образование, главным образом, гелия из водорода в ходе протон-протонного или углеродного циклов, но могут появляться также различные изотопы углерода и кислорода. Более тяжелые элементы возникают при вспышках сверхновых звезд, когда возможны цепные реакции с выделением большого числа нейтронов, что создает возможность их присоединения промежуточными ядрами до распада.

Многие астрономы полагают, что вспышки сверхновых за всю историю галактики вполне объясняют наблюдаемое содержание тяжелых и сверхтяжелых элементов в межзвездном газе и образование из него в разное время звезд «второго поколения».

Ядерные реакции в звездах сопровождаются мощным электромагнитным излучением, которое является одним из основных материальных компонентов межзвездного и межгалактического пространства. Электромагнитное давление в недрах звезд — также важный отталкивательный фактор, обуславливающий относительное равновесие звездной материи. Взрывы сверхновых — основной источник космических лучей. Так, полная энергия, выделившаяся в туманности Кассиопеи А, составляет 10^{51} — 10^{52} эрг, что в 10^{10} раз больше энергии годового излучения Солнца. Астрофизики полагают, что около 10% этой энергии используется на образование космических лучей, а это может компенсировать потери всех космических лучей галактики в течение 3—30 тыс. лет. Расчеты показывают, что даже одного процента энергии вспышек сверхновых хватило бы на поддержание стационарного состояния космических лучей с общей энергией

¹⁰ «Вопросы космогонии», т. IX. М., 1963, стр. 238.

10^{56} — 10^{57} эрг на каждую галактику, а именно такое значение получила радиоастрономия для ряда галактик.

Излучение, возникающее в результате ядерных реакций, ионизирует звездное и межзвездное вещество, а вращение звезд и межзвездных облаков обуславливает появление магнитных полей как отдельных космических тел и систем, так и галактик в целом. Эти поля играют важную, может быть даже решающую роль в эволюции галактик и процессах звездообразования. Во всяком случае только наличием магнитных полей удастся объяснить перенос момента количества движения и образования спиральных рукавов.

В качественном изменении химического состава космической материи, таким образом, тяготение отступает на второй план, но когда ядерные процессы исчерпают себя, оно вновь становится решающим фактором эволюции. Так, при выгорании водорода характер дальнейшей эволюции звезд определяется их массой, от которой зависит величина гравитационной энергии. Если масса звезды меньше, чем 1,5 массы Солнца, то выгорание водорода в центре сопровождается ее гравитационным сжатием и постепенным разогреванием всей массы звезды. Это увеличивает скорость углеродного цикла в промежуточном слое (где еще сохранился водород) и ускоряет тепловыделение, в результате происходит тепловой взрыв оболочки звезды, т. е. вспыхивает новая звезда. В ходе этой вспышки лишь небольшая доля водорода промежуточного слоя успевает превратиться в гелий, поэтому химический состав звезды мало меняется и подобные вспышки могут повторяться, что и обнаружено для ряда новых звезд. Если масса звезды больше чем 1,5 массы Солнца, то сжатие гелиевого ядра и связанное с ним тепловое и световое давление расширяют оболочку звезды, и она превращается в красный гигант. Сильное сжатие ядра вызывает вспышку сверхновой, потерю в ходе этого взрыва значительной части массы и в конце концов (может быть через ряд вспышек) приводит к новым звездам. Конечным результатом звездной эволюции является остывание карликовых звезд вплоть до холодного состояния.

Итак, мы сделали попытку рассмотреть эволюцию космических структур различных уровней с точки зрения действия в них противоречия устойчивости и изменчи-

ности. Какие же общие выводы можно сделать из этого рассмотрения?

1. Каждая космическая структура обладает относительной независимостью (изолированностью), которая обуславливает ее относительную устойчивость. Эта последняя, в свою очередь, определяется временным равновесием внутренних сил притяжения и отталкивания. Притяжение в космических структурах вызывается исключительно тяготением, отталкивание же связано с рядом факторов, главным из которых является взаимодействие элементарных видов материи.

2. Изменчивость космических структур — абсолютна. Характер и темпы изменений могут быть самыми различными, но они происходят непрерывно. Наиболее фундаментальные качественные изменения космических тел и систем определяются соотношением гравитационных и ядерных процессов.

3. Решающим фактором, определяющим преобладание устойчивости или изменчивости, является гравитация, действие которой в материальном мире — абсолютно универсально, поскольку тяготение между материальными телами существует всегда. При этом, чем выше порядок космической структуры, тем значительнее роль гравитации во всех преобразованиях.

4. Объективным критерием роли тяготения в космических процессах служит величина массы соответствующей космической структуры: сжатие гигантской массы всего мегамира вызывает такое качественное состояние космической материи, в котором развиваются столь мощные отталкивательные силы, что происходит взрыв первичного сгущения; более массивные «осколки» быстрее претерпевают вторичные взрывы; более массивные галактики выбрасывают из своих недр галактики-спутники и в них быстрее идет процесс звездообразования; более массивные звезды быстрее совершают свой эволюционный путь. Лишь тела, обладающие малой массой (меньше некоторой критической), приобретают стационарную устойчивость уже в холодном состоянии, и их качественное изменение определяется не столько внутренними факторами, сколько качественным изменением мегамира в целом. Здесь подтверждается мысль Ф. Энгельса, что отдельное движение стремится к равновесию (устойчивости), а совокупное движение нарушает его.

Чем выше порядок космических структур, следовательно, тем меньше вероятность достижения ими стационарной устойчивости.

5. В развитии космической материи имеются локальные круговороты, относительные повторения ряда процессов: последовательные взрывы сверхплотных сгущений, круговорот звездной и межзвездной материи. Но все эти изменения в конечном счете ведут к устойчивости соответствующих структур, и лишь Метагалактика в целом, пульсируя, обуславливает периодически непрерывную изменчивость космических структур всех известных нам уровней. Разумеется, как всякая конечная материальная система, Метагалактика в своем развитии также имеет элементы необратимости, но для детального исследования этого пока еще достаточного материала нет. Накопление его и теоретическое обобщение — дело науки ближайшего будущего.

СООТНОШЕНИЕ ОБРАТИМОСТИ И НЕОБРАТИМОСТИ В КОСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

В. И. КОРЮКИН

Проблема соотношения обратимости и необратимости является узловым пунктом многих современных космологических и космогонических теорий. Решение этой проблемы органически связано с изучением фундамента материи — элементарных частиц, излучения, гравитации. Но пока исследования в этой области отстают от объема накопленного естественнонаучного материала. В трудах В. А. Амбарцумяна, К. П. Станюковича, С. К. Всехсвятского, В. В. Казютинского, Б. А. Воронцова-Вельяминова, С. Т. Мелюхина¹ рассматриваются некоторые аспекты соотношения обратимости и необратимости, но проблема в целом требует дальнейшего исследования.

Данная статья и является попыткой такого исследования.

Взгляды человечества на Вселенную эволюционировали в общем направлении от признания неизменности, извечности всего существующего к признанию изменчивости, становления, развития; от признания первотолч-

¹ В. А. Амбарцумян. Об эволюции галактик.— «Научные труды», т. II, Ереван, 1960; Он же. О природе и эволюции галактик.— В сб. «Земля во Вселенной». М., 1964; К. П. Станюкович. К вопросу о термодинамике Вселенной.— «Труды шестого совещания по вопросам космогонии». М., 1959; Он же. Гравитационное поле и элементарные частицы. М., 1965; С. К. Всехсвятский, В. В. Казютинский. Рождение миров. М., 1961; Б. А. Воронцов-Вельяминов. Просторы галактик. М., 1963; С. Т. Мелюхин. О диалектике развития неорганической природы. М., 1960.

ка, «начала мира» — к торжеству идеи вечности Вселенной, самодвижения материи. Однако торжество теории эволюции в XIX в. имело своим следствием известную абсолютизацию идеи необратимости происходящих во Вселенной изменений. Это приводило и приводит к ошибочному тезису о едином направлении развития для всей Вселенной. В одних случаях (при относительном недостатке научных данных) ученые приходят к выводу о неизбежности «конца» мира (теория тепловой смерти Вселенной); в других — его «начала» (некоторые интерпретации теории расширяющейся Вселенной).

Цепочки необратимых изменений — линии развития, которые несомненно прослеживаются в природе, будучи приписанными Вселенной как целому, представленными как нечто однонаправленное, неизбежно подрывают идею самодвижения материи, приводят к серьезным методологическим трудностям, независимо от того, идет ли речь о непрерывной дифференциации, усложнении строения материи или о ее непрерывной «деградации», упрощении ее строения. Если Вселенная развивается как единое целое в определенном направлении, то перед нами бесконечный последовательный ряд ступеней развития, каждая из которых «выше» (или «ниже») предыдущей. При материалистическом взгляде на Вселенную, признании ее вечного существования, несотворимости и неуничтожимости, неизбежен вывод о «самому себе равном состоянии» материи, сделанный еще Дюрингом, если обратиться к «началу» ряда; либо вывод о цели, к которой может двигаться Вселенная как целое; если же обратиться к его «вершине», придется выбирать между остановкой развития или приписывать миру движение к некоторой цели, пределу, — как получилось у Гегеля.

Справедливо критикуя материалистов прошлого за их метафизический подход к природе и ее развитию, мы, вместе с тем, в настоящее время не можем не отметить рационального зерна в их воззрениях на движение природы как целого и на соотношение обратимости и необратимости. П. Гольбах был глубоко прав, утверждая, что нет и не может быть ничего вне природы, объемлющей в себе все сущее, что «целое не может иметь цели, так как вне его нет ничего, к чему оно могло бы стремиться»².

² П. Гольбах. Избранное, т. I. М., 1963, стр. 111.

Вот почему, следуя Энгельсу, надо диалектически подойти и к известному положению Гегеля о так называемом бытии природы вне времени. Гегель не провел последовательно идею развития в применении к природе³. Однако в его взглядах есть ряд позитивных моментов, на которых имеет смысл остановиться. Прежде всего, рассматривая Вселенную с позиций материалистического монизма как вечно существующую и бесконечную, мы должны утверждать, что никакая форма материи, ее движения не может исчезнуть навсегда. Оказывается неизбежным взгляд на Вселенную как на развернутое в пространстве многообразие различных форм движущейся материи, которые локально, в конкретном, частном пространственно-временном бытии сменяют друг друга, но никогда не исчезают окончательно. В бесконечной Вселенной «сосуществуют» в каждый момент времени в разных ее участках планеты, звезды, газопылевые туманности, потоки частиц, различные формы жизни, вещество в сверхплотном и в иных, еще неизвестных нам, состояниях.

Критикуя Гегеля, Ф. Энгельс вместе с тем отмечал, что «... у нас есть уверенность в том, что материя во всех своих превращениях остается вечно одной и той же, что ни один из ее атрибутов никогда не может быть утрачен и что поэтому с той же самой железной необходимостью, с какой она когда-нибудь истребит на Земле свой высший цвет — мыслящий дух, она должна будет его снова породить где-нибудь в другом месте и в другое время»⁴.

Таким образом, признание вечного существования Вселенной, несотворимости и неуничтожимости материи предполагает *многонаправленность* развития, неизбежным вариантом которой является полярно противоположная направленность, имеющая своим следствием повторяемость сменяющих друг друга форм материи, обратимость процессов и явлений.

³ См. К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 21, стр. 286—287.

⁴ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 363. «К тому же,— пишет Энгельс,— вечно повторяющаяся последовательная смена миров в бесконечном времени является только логическим дополнением к одновременному сосуществованию бесчисленных миров в бесконечном пространстве: положение, принудительную необходимость которого вынужден был признать даже антитеоретический мозг янки Дрейпера» (там же, стр. 362).

Этот важный вывод иногда подвергается сомнению с позиций гипотезы о конечности Вселенной, имеющей свои основания в некоторых выводах из общей теории относительности, впервые высказанных А. А. Фридманом. Эти выводы, полученные в результате преодоления формальных математических трудностей при решении уравнений общей теории относительности на основе упрощающих предположений о распределении материи во Вселенной, нельзя считать бесспорно обязательными, что в последнее время отмечает ряд исследователей. «Более разумно, — пишет, например, К. П. Станюкович, — вместо того, чтобы рассматривать теорию относительности и ее космологические выводы, постулировать бесконечность и неисчерпаемость материи (и Вселенной)... Постулат неисчерпаемости бесконечной Вселенной имеет ряд преимуществ (не только философских) по сравнению с моделями Фридмана»⁵.

Можно заметить, к тому же, что для обоснования идеи многонаправленности развития во Вселенной достаточно, чтобы Вселенная была велика (при конечной скорости передачи взаимодействий). Признание того, что эта скорость конечна — фундаментальное положение теории относительности. С позиций господствующей ныне концепции близкодействия невозможно объяснить, чем определялось бы общее для всей Вселенной направление развития при условии слабой динамической связи между ее максимально удаленными друг от друга частями⁶.

Таким образом, концепция бесконечного поступательного развития материи, развития без повторяемости и обратимости оказывается не менее односторонней и метафизичной, нежели концепция простого круговорота, прямой и всеобщей повторяемости. Как отмечает В. И. Ленин: «Движение и становление, вообще говоря, могут быть без повторения, без возврата к исходному пункту *и тогда* такое движение не было бы „тождеством противоположностей“». Но и астрономическое и механическое (на Земле) движение и жизнь растений и живот-

⁵ К. П. Станюкович. Гравитационное поле и элементарные частицы. М., 1965, стр. 7.

⁶ Справедливость теории близкодействия, подтверждаемая современным естествознанием, представляет собой контрольный, ограничительный фактор для развиваемой в статье концепции.

ных и человека — все это вбивало человечеству в головы не только идею движения, но именно движения с возвратами к исходным пунктам, т. е. диалектического движения»⁷.

Обратимость и необратимость в движении материи следует рассматривать в диалектическом единстве, т. е. как две противоположные стороны единого процесса развития, взаимодействием и взаимопереходами которых определяется его содержание. Абсолютизация какой-либо одной стороны неизбежно приводит к ошибкам. Следует также отметить, что вопреки довольно широко распространенному мнению, закон отрицания отрицания, открытый впервые Гегелем, не решает полностью проблемы соотношения обратимости и необратимости. Причина этого в том, что одно из основных условий действия этого закона — повторение каких-либо черт предшествующего этапа развития *на более высоком уровне*. В законе отрицания отрицания речь идет о развитии по восходящей линии, т. е. об одном из важных, но частных вариантов развития. В большинстве природных процессов условия действия закона отрицания отрицания не выполняются: как можно, например, говорить о «повторении на более высоком уровне» при исчезновении жизни в том или ином участке Вселенной. Исследователи, трактующие закон отрицания отрицания слишком широко, по существу ставят иную проблему — проблему соотношения цикличности и поступательности в развитии, обратимости и необратимости в процессах природы.

Наука дает нам многочисленные свидетельства взаимопревращений всех видов материи друг в друга (различные виды веществ превращаются друг в друга, образуют различные сочетания, вещество переходит в излучение, а излучение в вещество и т. д.). Всей материи присущи пространственно-энергетические характеристики и гравитационное взаимодействие, ни одна из ее частиц не может быть выключена из системы всеобщего взаимодействия, следствием которого являются постоянные изменения; не возникая и не исчезая, материя бесконечно меняет формы, сохраняя в масштабах Вселенной все богатство форм своего движения. Единство материального мира, взаимосвязь всех видов материи и

⁷ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 308.

форм ее движения служат основой для взаимопереходов, повторяемости явлений, обратимости процессов.

Процессы в фундаменте материи демонстрируют нам эту способность материи чрезвычайно широко: атомы излучают и поглощают кванты энергии; ярким примером повторяемости, обратимости являются всевозможные колебания; происходит соединение и разъединение частиц на уровне атомов и молекул; элементарные частицы взаимно переходят друг в друга; на Земле происходит круговорот веществ и т. п. Данное тело при соответствующих условиях может быть в конечном счете превращено в атомы, элементарные частицы, излучение.

Обратимость, повторяемость — реальная, необходимая черта движения материи. Однако обратимость никогда не бывает полной, точной, прямолинейной. Даже в сравнительно элементарных процессах возврат «в прежнее состояние» осуществляется при изменившихся (пусть незначительно) условиях общего взаимодействия. На более высоких уровнях обратимость заведомо не имеет полного характера. Каждый предмет и каждый процесс обладает своеобразием, не тождествен другим предметам и процессам уже потому, что иначе включен в систему всеобщего взаимодействия. Перед нами ярко выраженные противоположности: все в мире взаимосвязано и обратимо, вплоть до признания того, что материя в масштабах Вселенной вечно одна и та же, тождественна самой себе; в то же время в мире нет двух одинаковых явлений, нет, строго говоря, никаких точных повторений в локальных масштабах — излученный из атома квант не попадает обратно в тот же атом, любой цикл в природе совершается уже в отличных от предыдущего условиях. Рассматривая соотношение обратимости и необратимости, точнее было бы говорить о *принципиальной обратимости* процессов природы, которая связана с единством и взаимопревращаемостью всех видов материи и форм ее движения. В отличие от полной обратимости принципиальную обратимость можно характеризовать следующими положениями:

1) обратимость не есть *полное* повторение, *точный* возврат к предыдущим этапам движения;

2) всеобщий характер обратимости не означает прямых возвратов и прямых переходов из одного вида материи в другой;

3) возвращение к «исходному состоянию» из достигнутого не означает повторения в обратном порядке всех этапов движения к состоянию, с которого начался «возврат».

Принципиальная обратимость всегда связана с *локальной необратимостью*, с отсутствием точной повторяемости; каждое явление своеобразно и, строго говоря, неповторимо. И в то же время любое локально необратимое (в пространственно-временных масштабах и всеобщем взаимодействии) изменение есть момент в цепи процессов, ведущих к повторению в главном. *Локальную необратимость можно рассматривать, следовательно, как форму проявления принципиальной обратимости.*

Соотношение принципиальной обратимости и локальной необратимости имеет важное значение для понимания сущности и направленности космических процессов. На недопустимость абсолютизации какой-либо из этих двух сторон указывал еще Энгельс. «Мы приходим, таким образом, к выводу, — писал он, — что излученная в мировое пространство теплота должна иметь возможность каким-то путем, — путем, установление которого будет когда-то в будущем задачей естествознания, — превратиться в другую форму движения, в которой она может снова сосредоточиться и начать активно функционировать»⁸. Это чрезвычайно важное указание Энгельса может служить, тем не менее, источником заблуждений, если его понимать буквально, как указание на прямую, непосредственную обратимость. Попытки «лобового» решения проблемы круговорота материи во Вселенной довольно популярны. Так, Д. А. Франк-Каменецкий полагает, что рассеянная в виде излучения материя прямо и в массовом порядке рождает пары частиц и античастиц⁹. Поиски подобных механизмов — несомненно одна из важнейших задач данной области исследования, но им может повредить односторонняя методологическая ориентация.

Однако главным методологическим недостатком в понимании космических процессов и их направленности продолжает оставаться абсолютизация их необратимости.

⁸ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 362.

⁹ См. Д. А. Франк-Каменецкий. Множественное рождение нуклонных пар тепловыми фотонами в открытой космологической модели.— ДАН СССР, 1962, т. 144, вып. 2.

Подобные взгляды не лишены определенной фактической опоры: необратимость действительно имеет так или иначе место; науке известно немало фактов, свидетельствующих о преобладании процессов рассеяния материи и выравнивания энергии (по крайней мере в нашем участке Вселенной). Абсолютизация подобных процессов и сформулированного на их основе термодинамического принципа возрастания энтропии приводит к признанию односторонности процессов природы — к теории тепловой смерти Вселенной.

С точки зрения развиваемой в настоящей статье концепции принципиальной обратимости и локальной необратимости можно поставить вопрос: частью каких изменений более общего характера и масштаба являются данные необратимые изменения; с какого момента движения противоположности переходят друг в друга и начинается обратный по направлению процесс? Следует подчеркнуть необходимость именно такой постановки вопроса, так как еще и сегодня абсолютизация необратимости и принципа возрастания энтропии препятствует исследованиям проблемы соотношения обратимости и необратимости, создает для исследователей некий «психологический барьер».

В свое время одним из замечательных достижений науки, пробившим первую брешь в стройном здании классической термодинамики первой половины XIX в., явилось раскрытие статистического смысла второго начала термодинамики: согласно этой трактовке, все явления природы протекают в направлении *увеличения вероятности* состояния системы. Направление процессов, связанное с возрастанием энтропии, оказывается преимущественным, но не единственным. В наблюдаемых нами условиях наиболее вероятными представляются процессы, связанные с возрастанием энтропии; но их подавляющее преобладание не исключает и противоположно направленные процессы, которые в иных условиях могут быть более вероятными и преобладающими — такой вывод явно напрашивается из всех наших предшествующих рассуждений.

Нельзя не отметить и того, что в определении энтропии, ее использовании и в связанных с нею соотношениях немало неясностей. Во многих случаях, как отмечает Борель, «можно говорить не о вероятности состояния, а

о порядке и беспорядке»¹⁰. Тогда энтропия является мерой хаотичности: чем больше беспорядок, тем больше энтропия. Но здесь мы сталкиваемся с известными трудностями: оказывается, что «тепловая смерть Вселенной» должна быть связана не с возрастанием энтропии, а с ее уменьшением до нуля. «Если бы энтропия Вселенной стала равной нулю, это означало бы, что достигнуто окончательное состояние, в котором уже невозможна никакая эволюция. Вселенная была бы, следовательно, однородной массой материи одинаковой температуры»¹¹. Оказывается вообще затруднительным использовать понятие энтропии в качестве универсальной меры состояния систем. Мало помогает в таком случае и замечание Н. Винера: «Это будет слишком — требовать приемлемого для всех окончательного и четкого определения энтропии, кроме как в замкнутой изолированной системе»¹².

Как устранить эти трудности, с учетом того обстоятельства, что, по-видимому, в нашем участке Вселенной процессы выравнивания энергии и рассеяния вещества являются в настоящее время преобладающими?

Логично предположить, что в иных условиях увеличение вероятности состояния системы связано с уменьшением энтропии и преобладающими являются процессы концентрации, процессы, создающие неоднородности в распределении материи и энергии. В таком случае энтропия может иметь двойника — функцию σ , связанную с ней соотношением типа $\Delta\sigma\Delta S \geq A$, т. е. типа соотношения неопределенностей¹³, где A — некоторая постоянная, обусловленная уровнем перехода к преобладанию одних процессов над другими.

С помощью подобных представлений можно было бы попытаться построить теорию круговорота материи во Вселенной (ни ΔS , ни $\Delta\sigma$ не могут быть равны нулю ни в одной системе), с тем, чтобы получить на ее основе более или менее конкретные следствия, допускающие практическую проверку. «Абсолютная упорядоченность» и «абсолютный беспорядок», а точнее полное выравнивание

¹⁰ Э. Борель. Вероятность и достоверность. М., 1961, стр. 56.

¹¹ Там же, стр. 55.

¹² Н. Винер. Кибернетика и общество. М., 1956, стр. 28.

¹³ См. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. М., 1951, стр. 45—47.

энергии и полная ее концентрация оказываются одинаково недостижимыми.

Интересным шагом вперед, преодолевающим некоторые слабости традиционного подхода к развитию космической материи, является гипотеза происхождения нашего участка Вселенной в его современном виде не из диффузной материи, а из некоего сверхплотного вещества. Нельзя не отметить, однако, что, нанося удар воззрениям, абсолютизирующим прямую обратимость, сторонники гипотезы сверхплотного состояния материи не избегают от трудностей при переходе от рассеяния энергии к ее концентрации. Они переносят эти трудности в «другую точку». Если встречаются затруднения при создании теории происхождения галактик, звезд и планет непосредственно из диффузной материи, то едва ли меньшие трудности предвидятся при попытках объяснить происхождение сверхплотного состояния вещества, а вопрос — как оно появилось — едва ли можно игнорировать.

К сожалению, односторонний подход к проблеме соотношения обратимости и необратимости продолжает сказываться и на ряде новейших оригинальных концепций, берущих начало в фундаментальных исследованиях элементарных частиц и гравитации. Например, К. П. Станюкович предлагает следующую картину развития космической материи: «Удар двух ультраультрарелятивистских (в смысле скоростей, близких к скорости света) частиц мог привести к множественному рождению частиц различных классов. Число частиц непрерывно увеличивается со временем, а их энергия уменьшается. При этом оказалось, что частицы меньших энергий, чем обычные элементарные частицы, образовались ранее, что «стареют» они медленнее, чем частицы больших энергий, и с течением времени из этих «старых» частиц могут образоваться «новые» элементарные частицы. Таким образом в нашей Вселенной происходит непрерывное образование вещества из гравитации и других видов полей. При этом соотношение между различными видами энергии сохраняется постоянным»¹⁴.

При таком подходе, по мнению автора, — «возрастание энтропии в видимой части Вселенной не фактор,

¹⁴ К. П. Станюкович. Гравитационное поле и элементарные частицы. М., 1965, стр. 7—8.

свидетельствующий о стремлении Вселенной к состоянию равновесия, а следствие поступательного развития материи, когда одни формы и качества материи «отживают» и им на смену «возникают» новые»¹⁵. В заключение К. П. Станюкович пишет: «Итак, можно сделать самый общий вывод о том, что материя развивается необратимо без стремления прийти в состояние равновесия. Частичная обратимость, конечно, может иметь место»¹⁶.

Нельзя не отметить, что обратимость, даже частичная, вовсе не тождественна установлению состояния равновесия — это неверно уже для тривиальных случаев обратимости. Кроме того, отсутствие единой направленности развития во Вселенной приводит, как мы видели, по крайней мере, к более равноправному соотношению обратимости и необратимости. Абсолютизация необратимости и поступательного развития даже при серьезной критике одного из вариантов этой же абсолютизации — необратимого стремления к равновесию — не избавляет от методологических трудностей — проблемы «исходного» и «конечного» состояний.

Немалые надежды иной раз возлагаются на пересмотр всей системы физических представлений и прежде всего предельного характера скорости света. «Следует заметить, — пишет С. Т. Мелюхин, — что положение о предельности скорости света (c) в современной физике не имеет своего теоретического обоснования, а принимается лишь как постулат на основе опытных измерений скорости света. С принципиальной стороны в природе, по-видимому, могут существовать скорости распространения сигналов, большие c »¹⁷.

Попытаемся показать, что последовательное проведение идеи о соотношении принципиальной обратимости и локальной необратимости дает возможность построить формально непротиворечивую модель круговорота, связанную к тому же с основными идеями теории относительности и квантовой механики.

Прежде всего следует отказаться от абсолютизации идеи прямого массового превращения излучения в ве-

¹⁵ К. П. Станюкович. Гравитационное поле и элементарные частицы. М., 1965, стр. 296.

¹⁶ Там же, стр. 298.

¹⁷ С. Т. Мелюхин. О диалектике развития неорганической природы. М., 1960, стр. 169.

щество, так как излучение в процессах развития может играть роль не только «сырья», но и двигателя. Теория относительности утверждает, что тело, обладающее большей скоростью, обладает и большей массой (при равных массах покоя). Изменить его скорость — труднее. Частицы слабой энергии, напротив, легче изменяют свою скорость, легче ускоряются. Логично предположить, что излучение играет во Вселенной роль ускорителя, роль «пружины мировых часов»¹⁸. Рассеянное во Вселенной диффузное вещество становится «добычей» излучения и, разгоняясь до больших скоростей (гравитационное поле возрастает пропорционально скорости), образует гигантские сверхплотные скопления, существование которых завершается гигантским космическим взрывом. Вспомним наше математическое соотношение¹⁹: $\Delta S \Delta \sigma \geq A$. Пусть $\Delta S \rightarrow 0$, т. е. энергия стремится к равномерному распределению. В этом случае тенденция к концентрации растет ($\Delta \sigma \rightarrow \infty$) и с некоторого уровня рассеяния энергии начинается обратный процесс. В ходе концентрации способность к ней падает: $\Delta \sigma \rightarrow 0$, но в этом случае преобладающей становится способность к рассеянию ($\Delta S \rightarrow \infty$). Сверхплотное вещество оказывается «поставщиком» излучения и «сырья» для его созидательной работы (излучение, очевидно, общает гигантскую энергию и космическим лучам). Существуют пределы рассеяния и концентрации материи и важный взаимопереход: процесс рассеяния переходит в процесс концентрации — налицо реальнейшее тождество противоположностей, их переход друг в друга.

Интересную аналогию с только что изложенным обнаруживает исследование соотношения неопределенностей. Как известно,

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar,$$

что означает, по существу, связь между изменением импульса частицы и изменением ее пространственной локализации. Пусть $\Delta p \rightarrow 0$, т. е. скорость и масса части-

¹⁸ Исследования в этой области только начались. См., в частности: В. Н. Цытович. Об ускорении частиц излучением при наличии среды. ДАН СССР, 1962, т. 142, стр. 319 и далее.

¹⁹ Речь идет не о точном математическом выражении, а скорее о модели, структуре процесса. Постоянная A в соответствующих масштабах должна играть роль, аналогичную роли постоянной Планка \hbar .

цы неизменны, она ни с чем не взаимодействует. В этом случае $\Delta x \rightarrow \infty$; подобное движение может быть только движением света, который не локализуется, движется с постоянной скоростью (его принципиально нельзя ускорить), он как бы «размазан» в пространстве. Особенностью света является и то, что релятивистское сокращение размеров к нему непосредственно не относится.

Далее пусть $\Delta x \rightarrow 0$, т. е. энергия частицы стремится сосредоточиться в нулевом объеме. Тогда $\Delta p \rightarrow \infty$, что свидетельствует о невозможности сконцентрировать в конечном объеме сколь угодно большую энергию, т. е. требует взрыва, аннигиляции, потери энергии. Проблема движения космической материи оказывается тесно связанной с важными сторонами исследований в области теории относительности и теории элементарных частиц. В частности, рассмотрение некоторых аспектов специальной и общей теории относительности позволяет высказать ряд соображений, которые, не будучи бесспорными, на наш взгляд, заслуживают внимания с космологической точки зрения, хотя и вступают в противоречие с некоторыми укоренившимися трактовками. Взаимосвязь между массой и энергией есть прочно установленный современной наукой факт. Коль скоро такая связь существует, вряд ли правомерно полагать, что изменение скорости, а следовательно, энергии и массы тела не отражается на его внутренней структуре, на связях между частями тела, на размерах тела и характере протекания процессов в нем.

Но с возрастанием скорости тела необходимо возрастает его масса, следовательно, и гравитационное взаимодействие между движущимися массами, а в рамках данного тела — между его частями (в силу дискретности строения любого из последних). Движущееся тело как будто действует «само на себя»! Не следует ли здесь искать причину знаменитого релятивистского эффекта?

Если это имеет смысл, то приходится в качестве связанных с этим следствий отметить следующие: 1) всякая скорость может быть измерена в шкале световой скорости, т. е. имеет абсолютное значение в рамках этой шкалы (безусловно, не системы отсчета!); 2) подобный подход требует пересмотра кинематической трактовки релятивистских эффектов; 3) гравитационное сжатие

является всесторонним (и этим, возможно, объясняется распространенность шарообразной формы тел в природе, так как шар — оптимальная форма как раз для действия сил всестороннего сжатия).

Отметим, что первый тезис имеет и вполне самостоятельное значение. С этих же позиций нетрудно объяснить поведение движущихся часов: у фотона «бесконечный период колебания» — в нем как бы «застыло» время; формализма теории относительности подобный подход как будто непосредственно не захватывает. Но не противоречит ли он ее существу? Обратимся к классическому изложению теории относительности: «Весьма важно, что Эйнштейн сделал теорию независимой от специальных предположений о строении материи. Следует ли на этом основании вообще отбросить стремление к атомистическому пониманию Лоренцова сокращения? По нашему мнению, это не так. Сокращение масштаба является не простым, а, напротив, крайне сложным процессом... Мы должны постулировать это предположение и иметь в виду, что когда указанные законы станут известными, теория будет в состоянии дать атомистическое объяснение поведению движущихся масштабов и часов»²⁰.

С этой единой точки зрения, если принимать всерьез идею сверхплотного состояния вещества, ни одно тело не может достигнуть скорости света — оно будет раздавлено собственной тяжестью, «аннигилирует» еще до подхода к световому барьеру; момент «взрыва» определится, вероятно, скоростью в абсолютной световой шкале и массой покоя. Таким образом, скорость света физически предельна и получает свое теоретическое обоснование.

Следует указать на ряд проблем, которые могут быть подвергнуты обсуждению с представленных в статье позиций.

1. Движение космической материи содержит в себе реальнейшее противоречие (при этом особую роль играет ускоряющее действие излучения). Астрономические наблюдения или уже имеющиеся астрономические материалы могут дать ответы на следующие вопросы: не являются ли более плотными быстрее движущиеся

²⁰ В. Паули. Теория относительности. М., 1947, стр. 30.

небесные тела; на какие звезды (по скорости) приходится вспышки новых и сверхновых; не обусловлены ли вспышки цефеид их правильным периодическим движением и в какой момент этого движения вспышки происходят. Можно попытаться получить косвенный критерий для дополнительного подтверждения теории расширения материи в нашей части Вселенной. Звезды наиболее удаленных от нас и наиболее быстро движущихся галактик (эти два момента в принципе могут и не совпадать) должны быть плотнее (или уплотняться), и эти галактики должны представлять собой более плотные (или уплотняющиеся) звездные скопления; межзвездные расстояния в них должны быть относительно меньшими (или уменьшающимися).

Подобные галактики или газовые туманности могут дать картину повторных взрывов, если скорость их движения превзойдет некоторый предел. Намеки подобного рода можно встретить в научной литературе. Так, В. А. Амбарцумян сообщает: «Мы знаем, что некоторые газовые туманности расширяются. Примером может служить туманность Розетка в созвездии Единорога. В центральной части этой расширяющейся туманности находится разреженная область, где, однако, мы видим группу молодых звезд. Естественно допустить, что в результате взрыва какого-то плотного массивного тела образовалась эта группа молодых звезд и одновременно были выброшены большие газовые массы, которые продолжают до сих пор расширяться»²¹. Но в его следующее рассуждение: «Если в обычном газе скорости внутреннего движения настолько уменьшились, что он под воздействием собственных сил тяготения собрался в эти звезды, то непонятно, как у возникших звезд могли появиться столь большие скорости»²², возможно внесение поправки. Из наших предыдущих рассуждений получается, что скорость играет и прямо противоположную роль — не мешая, а способствуя концентрации материи, т. е. выступает как положительно действующий фактор.

2. Развиваемая в статье концепция затрагивает и проблему существования античастиц и некоторые вопросы теории элементарных частиц. Так, совершенно не

²¹ В. А. Амбарцумян. Основная проблема космогонии.— «Наука и жизнь», 1965. № 8, стр. 27.

²² Там же, стр. 28.

исключено, что античастицы представляют собой «скоростную» модификацию частиц, связанную с изменением внутренней структуры при больших энергиях (отсюда — иной знак заряда). Наиболее четко это недавно высказал Пауэлл. Здесь снова проявляется «тождество противоположностей». На подобном пути не исключено и «закрытие» ряда элементарных частиц. Этот вопрос существенно связан и с общими трудностями мезонной теории²³, количественно расходящейся в несколько раз с опытом, с исследованием проникающей способности частиц и античастиц, а также взаимодействия между нуклонами и антинуклонами. Д. С. Чернавский пишет по последнему поводу: «Рассматривается вопрос о том, почему сечения периферических взаимодействий нуклона с нуклоном и нуклона с антинуклоном при энергии $E_{\text{л}} \sim 2\text{Bev}$ отличаются в несколько раз, хотя с точки зрения одномезонного приближения они должны совпадать»²⁴. Поскольку обоснованные варианты теоретического решения этой проблемы отсутствуют, можно обратиться к высказанной выше идее взаимосвязи заряда и структуры. В случае, если антинуклон — не самостоятельная частица, разница при скоростях, близких к c , должна быть такого порядка, хотя для большинства исследователей эта гипотеза покажется «крамольной».

Независимо от справедливости высказанной гипотезы, были бы оправданы также анализ понятия «масса покоя», более глубокий анализ методики фиксирования элементарных частиц и их скоростей и рассмотрение вопроса об экспериментальных возможностях установления всеобщей световой шкалы скоростей движения тел; любой прогресс в решении этих вопросов окажет влияние и на решение проблемы направленности космических процессов.

В данной работе автор пытался вывести некоторые логические следствия из определенной системы представлений, не претендуя на решение всех затронутых вопросов. Каким путем пойдут дальнейшие исследования, покажет будущее.

²³ См. С. З. Беленький и др. Статистическая теория множественного образования частиц.— «Успехи физических наук», 1957, т. XII, вып. 2.

²⁴ Д. С. Чернавский. О влиянии аннигиляции на периферические нуклон-антинуклонные взаимодействия.— ЖЭТФ, 1963, т. 45, вып. 5(11), стр. 1558.

О СПЕЦИФИКЕ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

И. В. НАЗАРОВ

В литературе о философских проблемах современного естествознания в последнее время большое внимание уделяется раскрытию сущности и специфики геологических процессов. Это связано со становлением теоретической геологии, переходом ее на более высокую ступень: из науки описательно-эмпирической, основанной на описании внешних сторон или результатов тех или иных явлений, геология становится наукой, объясняющей источник, движущие силы и характер протекания естественных процессов на Земле.

Используя новые данные и достижения в области математики, физики, химии, совершенствуя методы изучения природных явлений, геологические науки переходят от качественной, внешней оценки явлений к количественной характеристике геологических процессов.

Познание сущности и направленности геологических процессов имеет громадное практическое и теоретическое значение. Для строительства коммунистического общества, для создания его материально-технической базы необходимо непрерывное возрастание минерально-сырьевых ресурсов, невозможное без познания закономерностей образования и территориального размещения месторождений различных полезных ископаемых. Разработка единой теории происхождения и развития Земли, закономерностей строения и состава ее оболочек и ряда других проблем основана на всестороннем и

глубоком изучении геологических процессов. Становление же теоретической геологии неразрывно связано с материалистической диалектикой, являющейся единственным научным методом познания и объяснения природных процессов развития и всеобщих связей.

Исследование философских вопросов геологии началось у нас сравнительно недавно.

Большой интерес у естествоиспытателей вызвало выделение Б. М. Кедровым¹ особой геологической формы движения материи среди основных форм ее движения в природе. Эта идея о существовании самостоятельной геологической формы движения как определенной совокупности механической, физической и химической форм была поддержана многими естествоиспытателями, особенно геологами (Г. Л. Поспелов, Е. В. Шанцер, М. М. Одинцов, И. Ф. Зубков и др.), которые попытались обосновать специфические особенности и противоречия геологической формы движения, определить ее место и связь с другими формами движения материи в природе.

Однако некоторые философы и естествоиспытатели (В. М. Букановский, М. Н. Руткевич, В. А. Штофф, Е. К. Федоров и др.) не согласны с выделением геологической формы движения или не относят ее к основным формам движения материи. Рассмотрение вопроса о противоречиях в геологических процессах в настоящей статье выявляет дополнительные данные к обоснованию этой последней точки зрения.

Прежде чем перейти к характеристике противоречий в геологических процессах, необходимо уточнить объем и характеристику самого понятия «геологический процесс». Следует сразу сказать, что процессы, относимые к геологическим, или у некоторых авторов — проявления действия геологической формы движения, не обязательно связывать только с исторически сформировавшимся понятием науки геологии, тем более что последняя объединяет много различных дисциплин. Под геологическими процессами мы будем понимать в дальнейшем *все* явления неорганической природы: минералообразование, петрогенез, складчатость, горообразование, эпейрогенез и ряд других, которые происходят в литосфере,

¹ Б. М. Кедров. О соотношении форм движения.— В сб. «Философские проблемы современного естествознания». М., 1959.

атмосфере и гидросфере, а также в более глубоких оболочках Земли — мантии и ядре. К геологическим следует относить и некоторые явления органической жизни, влияющие на образование горных пород и формирование рельефа земной поверхности.

Однако некоторые авторы относят к геологическим процессы, происходящие только в атмосфере, гидросфере и литосфере. Определение геологии как науки, изучающей возникновение, развитие, строение земной коры и ее поверхность, разделяют многие геологи.

Но, как известно, на многих планетах и их спутниках — Луне, Юпитере, Меркурии, Марсе — нет многих существенных условий для протекания «целостных» геологических процессов. Отсутствует гидросфера на первых трех планетах, нет атмосферы на Луне и Меркурии, однако на них происходят геологические процессы (выветривание, магматизм на Луне и т. п.). Причину многих геологических явлений (магматизм, метаморфизм, тектогенез, землетрясения, образование ряда месторождений полезных ископаемых) необходимо искать не в земной коре, а в более глубоких оболочках — на «геофизических» глубинах. При исследовании закономерностей развития, причин движений и деформаций участков земной коры нельзя отрывать ее от более глубоких частей Земли. Формирование структуры земной коры тесно связано с процессами, происходящими в мантии Земли, и развитие земной коры представляет лишь часть общего развития всей нашей планеты. Не случайно сторонники выделения геологической формы движения (Б. М. Кедров, М. М. Одинцов, Г. Л. Пospelов и др.) распространяют действие ее на всю Землю в целом.

Вопрос о противоречиях в геологических процессах рассматривается почти во всех работах, посвященных философским проблемам геологии. Высказываются различные точки зрения. Но большинство исследователей считает основным, главным противоречием геологических процессов взаимодействие и борьбу внешних (экзогенных) и внутренних (эндогенных) сил Земли. Так, В. М. Букановский пишет, что «...основное противоречие, выступающее источником геологической жизни, изменения лика Земли и земной коры, в свете воззрений Энгельса (и в полном соответствии с современным состоянием геологической науки), выражается в борьбе

внешних (экзогенных) факторов (солнечной энергии, физико-химических процессов выветривания) и внутренних (эндогенных) противодействующих факторов (вулканизм и химико-кристаллические процессы дифференциации остывающей магмы, колебания земной коры, землетрясения и т. д.). Именно это основное противоречие определяет качественное своеобразие предмета геологии и проявляется во всех прочих геологических явлениях и противоречиях»².

Аналогичные взгляды высказывает и М. М. Одинцов, который в своих выводах отмечает, что «...ведущей определенностью процесса геологического развития системы Земли является борьба расширения и сжатия при ведущей роли сжатия, уплотнения системы при одновременной дифференциации вещества. Зоной разрешения возникающих внутри системы противоречий является земная кора и поверхность Земли.

Эндогенные и экзогенные процессы, протекающие в земной коре и на ее поверхности, отражают в своем диалектическом единстве эти противоречия»³.

В статье И. Ф. Зубкова отмечается, что «...основным противоречием геологических процессов является противоречие между притяжением, важнейший компонент которого представляет гравитационное притяжение Земли, и отталкиванием, выступающим в форме теплоты. Источниками теплоты являются радиоактивный распад, гравитационное сжатие и Солнце»⁴. Далее И. Ф. Зубков пишет, что именно это противоречие приводит к образованию сложнейших геологических объектов, а не противоречие между эндогенными и экзогенными процессами.

В. Е. Хаин делает вывод, что в природе нет отдельных «чисто эндогенных» или «чисто экзогенных» процессов, те и другие теснейшим образом переплетаются друг с другом и что *все* процессы внутренне противоречивы⁵.

² В. М. Букановский. К вопросу о предмете и классификации современной геологии.— В сб. «Философские вопросы естествознания», вып. III. М., 1960.

³ М. М. Одинцов. О специфике геологических процессов. «Вопросы философии», 1962, № 3.

⁴ И. Ф. Зубков. Спорные теоретические вопросы наук о Земле. «Вопросы философии», 1963, № 7.

⁵ См. В. Е. Хаин. Диалектическое взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов как основа развития земной коры.— В сб. Музея земледования МГУ «Жизнь Земли», 1961, № 1, стр. 44.

Ю. П. Трусов выделяет в качестве движущей силы геохимических процессов две большие группы противоречий: внутренние — физико-химические и внешние — макропланетные, внутриядерные и космические. Основным, главным противоречием геохимических процессов он считает противоречие между внутренними и внешними факторами, действующими в земной коре⁶.

Общим недостатком изложенных точек зрения является стремление авторов найти одну, всеобщую, универсальную причину многообразных геологических процессов. На наш взгляд, универсального противоречия в многообразных геологических явлениях не существует. Такие разнородные процессы, как накопление торфа, образование каменного угля, землетрясения, горообразование, петрогенез, выщелачивание, накопление аллювия происходят в силу различных противоречий.

На современном уровне знаний вряд ли будет правильным рассматривать противоречие между внутренними и внешними процессами Земли как главное, определяющее противоречие геологических процессов. Действие основного противоречия должно было бы проявляться во всех без исключения геологических процессах; однако многие геологические процессы внутри Земли происходят без прямого участия внешних причин, и наоборот, ряд экзогенных процессов совершается без участия эндогенных сил. Кроме того, явления палеобиологические, изучаемые геологическими науками, также трудно свести к этому противоречию. Понятия «экзогенные» и «эндогенные» свидетельствуют, по нашему мнению, только об источниках энергии и месте проявления тех или иных процессов, а не о сущности самих процессов.

В подавляющем большинстве геологических процессов проявляется совместное и взаимосвязанное действие различного рода противоречий: физических, химических, а иногда и биологических. Только по отношению к геологическим объектам эти противоречия приобретают своеобразную форму выражения: так, противоречия физических форм движения материи (существующие внут-

⁶ См. Ю. П. Трусов. Предмет и метод геохимии и некоторые вопросы взаимодействия наук на современном этапе развития естествознания. В сб. «Взаимодействие наук при изучении Земли». М., 1963.

ри ядер, на уровне молекул и макротел) — притяжение и отталкивание, сжатие и расширение — выступают, частично, в виде борьбы экзогенных и эндогенных сил. Таковы явления горообразования, складкообразования, эпейрогенеза, денудации и аккумуляции. Причем геология часто изучает не сами эти процессы, а их внешнее выражение, результат действия процессов.

Противоречие химической формы движения проявляется в земных условиях в виде противоречия между вещественным (минералогическим) составом геологических образований и условиями (термодинамическими, климатическими), в которых последние находятся. Противоречие биологической формы движения выступает в виде взаимодействия и борьбы между новыми факторами среды и наследственностью организмов.

Когда же мы говорим об *одном* виде противоречия в каком-либо геологическом процессе, то имеется в виду преобладающий вид противоречия.

Для различных оболочек и в различное время истории Земли роль названных противоречий не была одинаковой и постоянной. Для земной коры, гидросферы и в меньшей степени атмосферы главную роль играют противоречия химической формы движения; для верхней части земной коры, гидросферы и нижней части атмосферы — противоречия биологической формы движения; для мантии, ядра Земли, частично атмосферы — противоречия физических форм движения материи. Рассматривая Землю как планету, в целом, и ее положение в космосе, мы также можем констатировать, что основная роль принадлежит физическим процессам. Не случайно значительная, большая часть Земли и ее положение в космосе изучаются геофизикой и астрофизикой.

Литосфера, гидросфера и, частично, атмосфера — области интенсивных химических процессов, в результате которых образуются разнообразные горные породы и минералы, составляющие материальное содержание литосферы. Наиболее сложные химические процессы образования горных пород и минералов протекают в периферической части литосферы — в коре выветривания; в ней наблюдаются суточные и годовые колебания температуры, свободно циркулируют воды, содержащие растворенный кислород, углекислый газ, гуминовые кислоты, способные растворять минеральные соли.

Громадную роль химических явлений в геологических процессах неоднократно отмечал В. И. Вернадский⁷. Он считал, что область кристаллохимических явлений совпадает с литосферой, в то же время в центральных подкорковых зонах Земли химические процессы не развиваются, а господствуют фазово-физические и термодинамические закономерности. Химизм Земли, по В. И. Вернадскому, падает от земной поверхности к центру Земли и к верхним слоям атмосферы.

Химико-кристаллические явления, дающие начало всему разнообразию горных пород и минералов, изучает петроминералогическая группа геологических наук. Минералообразование и петрогенез — это результат химических реакций, происходящих при вполне определенных условиях.

Стабильность любой системы (химических агрегатов, молекул) сохраняется лишь до тех пор, пока энергия внешних воздействий не превышает энергии внутренних связей в системе. В противном случае возникает противоречие между старой формой организации химических агрегатов (минералов) и новыми условиями. Разрешение этого противоречия ведет к образованию новых химических агрегатов. Основным противоречием процессов минералообразования (и петрогенеза) является противоречие между диссоциацией молекулы на атомы (разрушение одних минералов) и ассоциацией атомов в молекулы (образование новых минералов).

Горные породы и минералы — это временные, относительно устойчивые агрегаты, сохраняющиеся только в определенных термодинамических условиях. Подавляющее большинство минералов при изменении этих условий разрушается, давая начало новым минералам. Так, породообразующие минералы, играющие главную роль в строении земной коры, — полевые шпаты, амфиболы, пироксены, слюды, оливин — неустойчивы на поверхности Земли. С другой стороны, различные минералы и горные породы, образующиеся в зоне выветривания, часто содержащие воду, при погружении на глубину, в область высоких температур и давления, превращаются в сланцы и другие кристаллические породы.

⁷ См. В. И. Вернадский. История минералов земной коры, т. I, вып. I. М., 1923, стр. 25.

Земная поверхность и кора Земли находятся в непрерывном движении, поэтому и условия на них также непрерывно изменяются (горообразование и разрушение гор, образование и размыв осадков, регрессии и трансгрессии морей и т. д.), что способствует процессу минералообразования.

Несмотря на большую роль химических явлений в геологических процессах, вряд ли правильно считать химизм главной, определяющей формой развития Земли, как, например, утверждает В. М. Букановский, поскольку при таком толковании геологических процессов не учитывается все их многообразие, игнорируются процессы, в которых не изменяется вещественный состав объектов (явления сейсмические, складкообразования, аккумуляции и эрозии, горообразования и денудации и др.) и явления органической жизни.

Действительно, противоречия химической формы движения материи на современном этапе развития Земли играют значительную роль в геологических процессах, происходящих во внешних ее оболочках (литосфере, гидросфере и атмосфере); но если рассматривать развитие Земли в целом, положение ее в солнечной системе, особенности структуры, рельеф ее поверхности, то здесь преобладают противоречия физических форм движения материи. Физические процессы, происходящие на Земле, и обуславливают непрерывные химические изменения в литосфере, являются источником непрерывного минералообразования.

На ранних стадиях развития Земли противоречия физических форм движения были единственными движущими причинами геологических процессов. Энгельс отмечает: «Вместе с прогрессирующим охлаждением начинает все более и более выступать на первый план взаимодействие превращающихся друг в друга физических форм движения, пока, наконец, не будет достигнут тот пункт, с которого начинает давать себя знать химическое средство, когда химически индифферентные до тех пор элементы химически дифференцируются один за другим, приобретают химические свойства и вступают друг с другом в соединения»⁸.

⁸ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 356.

По мере развития планеты, после образования твердой коры, становится возможным появление химических соединений и агрегатов — минералов, а затем и белковых соединений, дающих начало органической жизни.

Масштаб геологических процессов, протекающих по законам физики, обычно больше и грандиознее, чем процессов, совершающихся по химическим и биологическим причинам. Геологические процессы, обусловленные действием противоречий физических форм движения, изучаются общей геологией и тектонико-геоморфологической группой геологических наук.

Противоречивые физические силы отталкивания и притяжения, сжатия и расширения, разогревания и охлаждения, дифференциации и интеграции, а также внутриядерные являются движущей причиной следующих геологических процессов: складкообразования и поднятия земной коры, образующих горные хребты; прогибания земной коры, вызывающего трансгрессию моря и накопление большой мощности осадков; землетрясений; вулканизма и поднятия магмы, образующих при застывании огромные массы изверженных пород; денудации и эрозии земной поверхности; аккумуляции, производимой текучими водами; действия громадных масс материковых и горных ледников; накопления терригенных отложений в озерах, реках, морях и океанах; разогревания отдельных участков Земли теплотой, выделяющейся при радиоактивном распаде, и многих других процессов.

В качестве примера явлений, имеющих физическую основу и источник, можно привести тектонические процессы. Они являются ведущими в формировании структуры Земли, в направленности ее развития, в образовании рельефа.

В настоящее время причиной тектонических процессов считают противоречие сжатия и расширения, а также дифференциацию материала Земли. Сжатие — притяжение обусловлены гравитационными силами, а расширение — отталкивание — внутренней энергией Земли, главнейшими видами которой являются радиоактивная, энергия кристаллизации и потенциальная энергия силы тяжести.

В зависимости от того, прошла ли Земля стадию максимального разогревания под действием теплоты, выделяющейся при радиоактивном распаде, или нет, и решается

ся вопрос о направленности ее развития, хотя в конечном счете ограниченный запас радиоактивных элементов должен вызвать преобладание сил сжатия.

Таким образом, тектонические процессы обусловлены действием только внутренних сил Земли.

Положение Земли в космосе определяется также действием физических сил: центростремительной силой притяжения к Солнцу и центробежной силой движения (вращения) Земли. В глубоких оболочках Земли (мантии и ядре), составляющих 99% всего земного вещества, господствуют геологические процессы, обусловленные физическими причинами. Суть спора между геологами и геофизиками (а также геохимиками) как раз и состоит в том, что последние, подчеркивая роль физических сил в геологических процессах, сводят все разнообразие этих процессов к поддающимся точной количественной характеристике физическим явлениям. Разрешение этой проблемы состоит не в замене геологии геофизикой (и геохимией), а в широком внедрении в геологию методов точных наук — математики, физики и химии.

Противоречие между внешними и внутренними силами Земли, которое большинство исследователей считает главным, определяющим противоречием в развитии Земли, является лишь *одним из физических* противоречий. Особенно наглядно взаимодействие внешних и внутренних сил проявляется в образовании и развитии рельефа. Совокупность морфологических форм какого-либо участка земной поверхности есть результат действия тектонических (эндогенных) сил (поднятие и опускание земной коры) и экзогенных сил, обуславливающих денудацию и аккумуляцию, а также продолжительности и скорости действия тех или иных процессов. При значительных по масштабу и скорости положительных (отрицательных) движениях денудация (аккумуляция) не успевает нивелировать рельеф — образуются горные впадины; при незначительных по масштабу и медленных положительных (отрицательных) движениях процессы денудации (аккумуляции) выравнивают рельеф — образуются плоские возвышенности, плато (равнины).

Непрерывное развитие рельефа Земли обусловлено взаимодействием силы тяжести, стремящейся посредством денудации и аккумуляции сnivelлировать его, и тек-

тонических факторов, обусловленных, как мы показали, внутренней энергией Земли.

Рельеф Земли есть внешнее проявление, результат динамического равновесия этих сил. В эпохи относительного тектонического покоя он значительно выравнивался, происходила его пенепленизация, в эпохи же складчатости он был значительно расчлененным. Процесс развития Земли направлен к увеличению площади, занятой платформами за счет стабилизации геосинклиналей, поэтому возможно и общее постепенное выравнивание рельефа. Кроме того, действие силы тяжести проявляется и будет проявляться на Земле в течение всего времени ее существования, тогда как запасы радиоактивных элементов не бесконечны. Рельеф Земли будет нивелироваться с замедляющейся скоростью, так как по мере выравнивания процессы эрозии и денудации значительно замедляются.

Геологические процессы, обусловленные физическими причинами, имеют обычно значительные масштабы, а иногда и скорость; и эти причины, на наш взгляд, являются главными, хотя и не единственными в развитии Земли, так как ряд геологических процессов, обусловленных химическими и биологическими причинами, не укладывается в рамки взаимодействия эндогенных и экзогенных сил (таковы химическое и органическое выветривание, образование горных пород и, что особенно важно, образование большинства месторождений рудных, нерудных и горючих полезных ископаемых).

Геологические процессы могут происходить под действием только экзогенных сил или только эндогенных. Так, под действием первых совершаются органическое и химическое выветривание, выщелачивание текучими водами, деятельность ледников и многие другие процессы; под действием вторых — складкообразование, внедрение магмы, поднятие и опускание земной коры и т. д.

Противоречия биологической формы движения также играют значительную роль в геологических процессах. Деятельность организмов в них осуществляется за счет энергии Солнца, тепла и света, излучаемого им, и полностью относится к экзогенным геологическим процессам. Как известно, органическая жизнь возникла на более поздних этапах развития Земли, чем химическая, и это самая молодая форма движения материи.

Роль животных и растительных организмов в геологических процессах достаточно велика. Помимо органического выветривания минералов, растительные организмы поставляют активные химические агенты: кислород и гуминовые кислоты, необходимые при химическом выветривании. Кроме того, организмы сами способны к химической деятельности: поглощению минеральных элементов и образованию вторичных минералов. После отмирания растительные и животные организмы образуют мощные толщи органогенных пород: органогенного известняка, каменного угля, сланцев, торфа и других.

Итак, в настоящее время геологические процессы Земли обусловлены действием противоречий физической, химической и биологической форм движения материи. Правильно поэтому высказывание Е. А. Куражковской, что все геологические процессы в качестве движущей причины имеют противоречие, связанное с отношением Земля — Солнце. Она полагает, что «... закономерности геологических процессов обусловлены вполне определенным положением Земли в солнечной системе, а солнечной системы во Вселенной. Поэтому внутренние противоречия как источник всех геологических изменений не следует, по-видимому, искать только в процессах, совершающихся в недрах земной коры... Эндогенные процессы Земли не объяснимы вне отношения Земля — Солнце. Следовательно, и все геологические явления в качестве своего внутреннего источника развития имеют противоречия, связанные с этим отношением»⁹. Именно положение Земли относительно Солнца и обусловило наблюдаемое разнообразие геологических процессов (в частности, протекающих по химическим и биологическим причинам). Известно, что на ряде других планет — Сатурне, Юпитере, Меркурии — господствуют геологические процессы, обусловленные противоречиями только физических форм движения материи.

Действие физических, химических и биологических противоречий можно рассмотреть на конкретных геологических процессах, в которых эти противоречия проявля-

⁹ Е. А. Куражковская. Проблема развития неорганической природы и принцип актуализма в геологии.— В сб. «Философские вопросы естествознания», вып. III. М., 1960.

ются в единстве. Возьмем в качестве примера образование месторождений глин.

Породообразующие минералы — полевые шпаты, амфиболы, пироксены, слюды, оливин, — образующие основную массу земной коры, на поверхности Земли неустойчивы. Поэтому горные породы, сложенные из этих минералов, попадая в область воздействия атмосферных агентов, подвергаются выветриванию. В выветривании проявляется совместное действие химических, физических и биологических причин.

В процессах образования глин химические противоречия имеют преобладающее значение. Горная порода в результате физических процессов — нагревания и охлаждения, расширения воды при замерзании, различного расширения минералов при нагревании, выноса отдельных частиц — претерпевает механическое разрушение, дезинтеграцию. Аналогичное действие на горные породы оказывают растительные и животные организмы, особенно микроорганизмы.

Химическое выветривание горных пород происходит под влиянием гидролизованной воды, растворенных в ней кислорода, углекислого газа, гуминовых кислот, способных растворять минеральные соли. Химическое выветривание многокомпонентных пород развивается стадийно. В начальной стадии — щелочной — из породы выносятся все легко растворимые соли: сульфиды и хлориды K, Na, Ca, Mg, карбонаты щелочноземельных металлов. Одновременно происходит гидролиз силикатов и алюмосиликатов и вымывание извлеченных из них оснований K, Na, Ca, Mg. Выносятся также и кремнезем.

Во второй стадии — кислой — продолжается разрушение алюмосиликатов и вынос оснований и кремнезема, а также начинается миграция трудно растворимых соединений: гидроокислов алюминия, железа, марганца, а также окислов титана. В зависимости от исходного состава материнской породы и от того, насколько распространились процессы выветривания, образуются горные породы, начиная от гидрослюд, бейделлита, монтмориллонита и до каолинита, а также рудные накопления железа и алюминия (бокситы).

Различные противоречия в процессах выветривания действуют не только совместно, но и взаимосвязанно. Так, действие химических процессов зависит от физиче-

ских (климатических и тектонических) и биологических факторов: температурных условий, количества осадков, особенностей рельефа и поступлений органического вещества.

После образования глинистых минералов необходимы благоприятные условия для их сохранения и концентрации в определенных участках земной поверхности. Здесь уже господствуют физические процессы переноса глинистых минералов (плоскостными и линейными потоками). Большое значение для образования месторождений глин имеет рельеф, который, как уже рассмотрено, формируется и обуславливается действием экзогенных и эндогенных сил. Глинистые минералы накапливаются в значительных количествах преимущественно в понижениях рельефа.

В рассмотренном примере образования месторождений глин видно взаимосвязанное, комплексное действие химических, физических и биологических противоречий. Такое же комплексное действие ряда противоречий проявляется и в большинстве геологических процессов. Поэтому поиски одного, универсального противоречия в многообразных геологических процессах нам кажутся обреченными на неудачу.

На современном этапе развития Земли в геологических процессах господствуют химические, физические и биологические противоречия; каждые из них имеют определенную область действия и свою специфику. Роль отдельных видов противоречий не была постоянной в истории Земли и значительно изменялась со времени ее (Земли) образования и до настоящего времени. Усложнение геологических процессов, происходящих на Земле, есть частное проявление усложнения и развития материи в целом и форм ее движения.

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭКЗОГЕННЫХ И ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗВИТИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Е. К. ТИТАНОВА, П. П. ЧУПИН

Земля как планета представляет собой целостную материальную систему, находящуюся в сложной взаимосвязи с факторами космического пространства, частью которого она является; в свою очередь элементы этой системы взаимодействуют друг с другом.

Нынешнее состояние Земли является результатом ее эволюции, начало которой отстоит от нас на пять или немногим более миллиардов лет. По современным научным данным, первичное вещество Земли было более или менее однородным и состояло из холодного космического материала. Это было вещество каменных или каменно-железных метеоритов.

В дальнейшем в результате саморазогревания, вызванного распадом радиоактивных элементов, и гравитационной дифференциации этого вещества произошло закономерное распределение химических элементов Земли по вертикали¹. Более легкие соединения кремния, алюминия, магния и других поднялись вверх; более тяжелые, прежде всего элементы железо-никелевой группы, сосредоточились главным образом в глубинных частях Земли.

В ходе этого процесса была нарушена первоначальная однородность вещества планеты и возникли различающиеся по химическому составу, физико-химическим свойствам, по термодинамическим условиям своего местонахождения оболочки Земли: атмосфера, гидросфера,

¹ См. А. П. Виноградов. Химия Земли.— В сб. «Глазами ученого». М., 1963, стр. 336.

криосфера, литосфера или земная кора. Ниже коры расположены мантия и ядро, в свою очередь разделяющиеся на отдельные зоны с различными физико-химическими свойствами (и по всей вероятности различные по химическому составу) составляющего их вещества.

Литосфера или земная кора — главная область геологических процессов — это сплошная оболочка Земли, имеющая в среднем толщину 30—35 километров, уменьшающуюся под дном океана до 5 и увеличивающуюся под горными хребтами до 70 километров. Нижняя граница коры, отделяющая ее от мантии, проходит по разделу Мохоровичича; верхняя граница идет по поверхности суши и по дну океанов и морей². Вещество коры также неоднородно. Верхний слой, непосредственно выходящий на дневную поверхность суши и неравномерный по мощности (наименьшая толщина под дном океана около одного километра), составляют осадочные породы. Далее идет гранитный слой, отсутствующий под дном океана, и, наконец, нижний сплошной базальтовый слой, минимальная толщина которого под дном океана составляет около пяти километров.

Земная кора находится в постоянном взаимодействии с другими оболочками — с атмосферой, гидросферой и биосферой на своей верхней границе и с верхней мантией — на нижней. Это двоякое взаимодействие характеризует динамику развития коры и раскрывает решающую роль в нем внутренние противоречивых факторов — *экзогенных и эндогенных геологических процессов*.

Экзогенные процессы — это геологические процессы, протекающие непосредственно на поверхности или на небольшой глубине земной коры; они являются результатом взаимодействия литосферы с другими геосферами в ее верхней границе. Эндогенными называют процессы,

² По вопросу о верхней границе земной коры существуют различные мнения. Часть геохимиков, начиная с В. И. Вернадского (см. В. И. Вернадский. Очерки геохимии. Избр. произв., т. I. М., 1954) поднимают верхнюю границу земной коры до раздела тропосферы и стратосферы. «Такое понимание земной коры, — пишет Ю. П. Трусов, — представляется наиболее правильным, в особенности с геологической точки зрения, поскольку указанные границы естественно выделяют относительно целостную область планеты, в которой наиболее интенсивно происходит закономерное движение, круговорот вещества, порождаемый определенной совокупностью фактов» (Ю. П. Трусов. Предмет и метод геохимии. — В сб. «Взаимодействие наук при изучении Земли». М., 1963, стр. 240).

которые зарождаются у нижней границы литосферы и связаны с дифференциацией вещества мантии.

Поскольку основная область проявления геологических процессов — земная кора, все геологические явления, происходящие в ней, связаны в конечном счете с противоречивым взаимодействием экзо- и эндогенных факторов; это противоречие является важнейшим внутренним противоречием и движущей силой геологического развития³.

Однако, как справедливо отмечает ряд исследователей (В. Е. Хаин⁴, Е. А. Куражковская), выдвигая на передний план роль этих процессов в качестве важнейших внутренних движущих сил геологического развития; не следует допускать односторонности в смысле игнорирования внешних факторов. Земля при всех обстоятельствах является частью солнечной системы, более того, частью космоса, с которым она связана не только генетически. Внешние (т. е. в данном случае внеземные) факторы, к числу которых прежде всего нужно отнести солнечную энергию, а также выпадение на Землю метеоритного вещества (по подсчетам более 10 тонн в сутки⁵), огромные напряжения, испытываемые веществом Земли в связи с ее вращением и притяжением Солнцем и Луной, изменение магнитного поля Земли под влиянием изменений солнечной активности, безусловно, оказывают огромное воздействие на течение геологических процессов, происходящих на Земле. Более того, они создают условия, без которых немислима и собственно геологическая ее история. Но внешние факторы оказывают влияние на течение геологических явлений не непосредственно, а в сложном взаимодействии через экзо- и эндогенные геологические процессы. Иными словами, через внутренние геологические диалектически противоречивые факторы, характеризующие специфику формирования и развития коры, структуру и механизм ее развития.

³ См. Е. А. Куражковская. О предмете геологии.— В сб. «Диалектический материализм и вопросы естествознания». М., 1964. См. Она же. О классификации форм движения материи и месте в ней геологической формы.— «Вопросы философии», 1964, № 12.

⁴ В. Е. Хаин. Философские вопросы геологических наук на современном этапе их развития.— В сб. «Философские вопросы естествознания», вып. III. М., 1960.

⁵ См. О. Ю. Шмидт. Четыре лекции о теории происхождения Земли. М., 1949, стр. 58.

Далее, выдвижение на передний план противоречия между экзо- и эндогенными процессами не следует понимать так, что все другие противоречия геологического развития можно механически свести к нему, растворить в нем. На деле их соотношение представляет собой диалектическую связь общего и отдельного и эта связь различным образом реализуется в конкретных геологических явлениях.

В одних явлениях воздействие каждой из сторон этого противоречия осуществляется непосредственно и с более или менее одинаковой силой; на возникновение других явлений преимущественное воздействие оказывает какая-либо одна из сторон этого противоречия, тогда как действие другой проявляется в значительно меньшей степени и зачастую опосредованно.

С действием эндогенных факторов непосредственно связаны такие геологические явления, как магматизм, метаморфизм, тектонические движения; под их влиянием идет образование континентов и океанов, положительных и отрицательных форм рельефа земной поверхности. Экзогенные процессы действуют в противоположном направлении: они стремятся уничтожить, сивелировать основные формы рельефа путем размыва пород положительных структур, сноса и отложения продуктов их разрушения в отрицательных структурах.

Поэтому историю рельефа коры, ее структуры и непрерывного изменения вещественного состава можно рассматривать как функцию этих двух взаимно противоположных тенденций.

Как же происходит развитие, каково его направление? Как соотносятся между собой обе стороны диалектического противоречия на разных этапах развития?

Еще в XIX в. под влиянием работ Ч. Лайеля, развившего эволюционные идеи своих предшественников, в геологии все более прочно стало утверждаться учение о том, что история Земли — это не серия сменяющих друг друга и не связанных между собой катастрофических изменений, а закономерный процесс, в котором каждый последующий этап находится в преемственной связи с предшествующим, как процесс изменений не только в пространстве, но и во времени.

Теория Лайеля, писал Ф. Энгельс, пробила брешь в старом метафизическом взгляде на мир и внесла «здра-

вый смысл в геологию, заменив внезапные, вызванные капризом творца, революции постепенным действием медленного преобразования Земли»⁶.

Особое значение при этом имел выдвинутый Лайелем принцип актуализма, в соответствии с которым о прошлом требовалось судить на основании современного состояния. История Земли, подчеркивал Лайель, является результатом действия обычных экзогенных и эндогенных факторов, и чтобы судить о их действии в геологическом прошлом, нужно изучить их действие в настоящее время.

Однако эволюционная теория Лайеля не была до конца последовательной; признание изменения Земли в целом, ее историчности уживалось с ошибочным взглядом, будто характер процессов, под влиянием которых происходят изменения, остается все же неизменным. Одним словом, признавая историчность Земли, Лайель одновременно допускал внеисторичность процессов, меняющих ее лик. Ф. Энгельс, подчеркивая это, с полным основанием писал, что у него (Лайеля) действующие в природе силы остаются «постоянными как по качеству, так и по количеству»⁷.

Новейшие данные геологии, в особенности смежных с нею дисциплин — геофизики, геохимии и других, со всей определенностью доказали, что в земной коре происходили действительно различные неповторяющиеся этапы развития и что поступательный характер развития земной коры органически связан с изменяющимися во времени геологическими процессами, обуславливающими это ее развитие.

Тот очевидный факт, что поверхность континентов однородна, что в ней чередуются равнины, возвышенности, горные области, был известен людям уже в очень глубокой древности. Однако потребовалось много веков, чтобы из этого факта сделать правильный научный вывод о закономерной связи этих форм рельефа друг с другом, с одной стороны, и о различии в их внутреннем строении — с другой.

В настоящее время ученые выделяют два основных типа поверхности материковых областей — платформенный и геосинклинальный. Их различие связано с различ-

⁶ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 352.

⁷ Там же.

ной активностью происходящих в них тектонических движений. Платформы — это районы слабых движений земной коры, геосинклинали (или складчатые зоны) представляют участки, характеризующиеся большой подвижностью.

В истории Земли расположение платформ и геосинклинальных областей менялось. Существующие ныне геосинклинали и платформы имеют различный возраст. Но в древнейшие времена на поверхности Земли почти повсеместно происходили сильные колебания; это заставляет предположить, что в тот период платформенные области либо вообще отсутствовали, либо были крайне незначительны и нестабильны.

С ослаблением тектонической активности, постепенным затуханием колебательных движений геосинклинальные области в разное время под влиянием экзогенных факторов превращались в платформы. Процесс увеличения платформенных областей за счет уменьшения зон складчатости характеризует *основное направление в развитии земной коры*. Этот необратимый в целом процесс не является, однако, непрерывным, а включает ряд этапов, на протяжении каждого из которых происходило изменение в соотношении между геосинклиналями и платформами и которые принято называть тектоническими циклами.

Такая направленность в развитии коры к угасанию тектонической активности и расширению платформ за счет геосинклинальных областей, следовательно, и к *преобладанию экзогенных факторов над эндогенными* в формировании рельефа не означает, однако, что данный процесс, необратимый в целом, не встречает противоположной тенденции, связанной с возобновлением сильных колебательных движений на бывших платформах и превращением их в складчатые зоны, т. е. с усилением роли эндогенных факторов. Ярким примером такого повторного проявления тектонической активности на месте древней платформы служит образование в неогеновый период сильно расчлененного рельефа Тянь-Шаня. И пример этот не единственный. Но обратимые изменения в строении и составе земной коры (например, превращение платформ в геосинклинали, материков в океаны, гранитов в более основные породы) имеют ограниченный характер.

В истории Земли выделяют ряд геотектонических циклов, которые следуют друг за другом во времени. Иногда конец предыдущего цикла может совпадать с началом последующего. Для каждого геотектонического цикла присущи свои «излюбленные» периоды активизации, хотя отдельные фазы могут скользить во времени. Эти циклы носят планетарный характер, хотя интенсивность проявления по регионам может быть различной в зависимости от геологического строения. Поэтому по отношению к отдельным регионам Земли можно говорить о периодах относительно ускоренного течения геологических процессов с характерным преимущественным проявлением эндогенных (геосинклинальное развитие) и периодах более медленного эволюционного развития с преобладающим действием экзогенных (платформенное развитие) процессов.

В периоды ускоренного течения геологических процессов происходят резко контрастные колебательные движения земной поверхности с быстрым обновлением ее путем образования мощных горных хребтов и межгорных долин, т. е. создается большая разница в высотных отметках между поднятыми и опущенными участками земной коры. Одновременно интенсивно действуют процессы магматизма, способствующие формированию офиолитовой формации, гранитизации и эффузивным излияниям в заключительные стадии развития геосинклинали. Явления магматизма способствуют, с одной стороны, метаморфизму, а с другой — производят как бы «спайку» подвижных блоков в данном участке и тем самым превращают мобильные геосинклинальные области в дислоцированные жесткие структуры.

Одновременно в этих регионах действуют и экзогенные процессы — происходит разрушение пород на возвышенных участках и снос продуктов разрушения в пониженные (водные или безводные), где из них образуются новые осадочные породы. Разница лишь в том, что роль экзогенных процессов в этот период незначительна; эндогенные резко преобладают над экзогенными; в результате такого перевеса в конечном итоге создается сильно расчлененный горный рельеф поверхности.

В последующие периоды более медленного эволюционного развития региона (жестких структур земной поверхности) размах и контрастность движений его от-

дельных участков (эндогенные эпейрогенические движения) резко уменьшаются, а интенсивная деятельность экзогенных процессов приводит к разрушению пород в положительных структурах, сносу и накоплению продуктов разрушения в отрицательных с последующим образованием из них новой горной породы. В этот период экзогенные процессы начинают резко преобладать над эндогенными; в результате этого происходит нивелировка возвышенных участков, резко увеличивается интенсивность накопления осадков, что в конечном итоге в течение длительного времени приводит к образованию пенеplена на месте горного района.

Следовательно, эндогенные процессы создают основные формы рельефа и максимальную разницу в высотных отметках между ними; экзогенные же, наоборот, стремятся их сивелировать и свести разницу в высотах к нулю. При этом важно отметить, что экзогенные процессы не только противодействуют эндогенным, но и весьма существенно влияют на их развитие, так как последние в очень большой степени зависят не только от внутренних сил, но и от материала, к которому они прилагаются и который создается в результате экзогенных процессов⁸.

Рассмотрим теперь более конкретно механизм взаимодействия эндо- и экзогенных факторов и их соотношение в развитии отдельных геологических явлений.

Не касаясь вопроса об источнике внутренней тепловой энергии Земли, можно сказать, что она в форме отталкивания совершает работу эндогенных процессов: выплавления и дегазации пород мантии с образованием легкоплавкой и тугоплавкой фаз, дифференциации вещества⁹, обуславливающие процессы тектонического движения и тесно связанные с ними генетически процессы магматизма и метаморфизма. На всех этапах развития этих процессов действуют силы притяжения (обычно в форме силы тяжести) и силы отталкивания.

В частности, легкоплавкая фаза (магма базальтовая) под действием сил отталкивания тепловой энергии Земли движется вверх, преодолевая сопротивление пород земной коры.

⁸ См. В. В. Белоусов. Основные вопросы геотектоники. М., 1954, стр. 61.

⁹ Этот процесс А. П. Виноградов уподобляет зонной плавке.

Когда силы отталкивания меньше сил тяготения и сопротивления пород земной коры, магма застывает с образованием интрузивного тела на какой-то определенной глубине от земной поверхности.

Если силы отталкивания больше силы тяготения и сопротивления вышележащих пород земной коры, они приводят к извержению магмы на земную поверхность в виде лавы (вулканизм). Извержение может происходить в форме спокойного излияния лав или бурно, с огромной разрушительной силой, в случае вязкой магмы кислого состава.

Даже физико-химические процессы в своей основе не лишены действия и противодействия между притяжением и отталкиванием. Когда осадочная порода в силу тех или иных причин попадает на большую глубину, где господствуют высокие температура и давление, но недостаточные для полного ее расплавления, она подвергается метаморфизму. По А. Ритману, «метаморфизм — совокупность превращений, которые происходят в твердой горной породе, если она внутри земной коры переходит в новые физико-химические условия»¹⁰.

Суть этих превращений заключается в одновременном растворении старых и образовании новых минералов без изменения в целом химического состава горной породы.

В условиях высоких температур и давлений под действием тепловой энергии химические связи в старых минералах расшатываются. С другой стороны, между элементами, имеющими в данных условиях большее химическое сродство, чем между элементами в старых минералах, осуществляется притяжение. В результате такого действия в конечном итоге происходит перекристаллизация веществ, образуются новые минералы, с несколько иными химическими связями, обеспечивающими им устойчивое положение в новых термодинамических условиях.

Под действием экзогенных процессов, эрозии и денудации происходит обнажение интрузивных магматических пород на дневной поверхности, характеризующейся весьма изменчивым химическим составом и низкими температурой и давлением. В этих условиях высокотемпературные минералы интрузивных магматических пород со

¹⁰ А. Р и т м а н. Вулканы и их деятельность. М., 1964.

Сложным молекулярным строением и высокой энергией кристаллической решетки становятся неустойчивыми; они вступают в химическое взаимодействие с реагентами зоны осадкообразования.

Как известно, при химическом взаимодействии проявляется принцип Ле-Шателье: «если в системе, находящейся в состоянии подвижного химического равновесия, изменить температуру, давление или концентрацию, то состояние равновесия сдвинется в направлении того процесса, который противодействует первоначальному изменению»¹¹. Поэтому на земной поверхности совершается процесс, который как-то компенсирует низкую температуру; иначе говоря, наблюдается выветривание магматических пород с образованием новых минералов с более простой структурой, низкой энергией кристаллической решетки, устойчивых в данной среде, и выделением тепла. В частности, при выветривании магматических пород на земной поверхности алюмосиликаты и слюды превращаются в каолинит путем выщелачивания катионов, щелочных и щелочноземельных металлов и частичной десиликфикации. Каолинит имеет более простую структуру и низкую энергию кристаллической решетки; поэтому он в зоне осадкообразования оказывается более устойчивым, чем первичные алюмосиликаты.

Вследствие изменчивости зоны осадкообразования как по химическому составу, так и термодинамическим условиям абсолютного равновесия каолинита с окружающей средой нет. Каолинит, оставаясь в течение длительного времени на дневной поверхности, подвергается воздействию агентов зоны осадкообразования, а это в конце концов вызывает разрушение каолинового ядра. Наиболее интенсивно каолиновое ядро разрушается в условиях теплого влажного климата с чередованием жаркого сухого и теплого влажного периодов. В результате нарушения прочной химической связи между кремнием и алюминием в каолиновом ядре образуются их полуторные окислы, очень устойчивые, поскольку химическая природа, структура и энергия кристаллической решетки их более соответствуют химическим свойствам и термодинамическим условиям окружающей среды. Но и это равновесие не является вечным.

¹¹ Л. В. Пустовалов. Петрография осадочных пород, ч. I. М.—Л., 1940.

Физическое выветривание или механическое разрушение горных пород на отдельные глыбы и обломки наблюдается в зонах с резкой сменой температур. Под действием смены температур породы подвергаются то сжатию, то растяжению, незначительным по величине, но длительным по времени, исчисляемому тысячелетиями; в результате сцепление между минералами или отдельными участками горных пород постепенно ослабевает, образуются трещины, по которым они и разрушаются. Обломки пород под действием силы тяжести, или водного, или воздушного потоков падают вниз, или сносятся с места, обнажая новые участки горных пород для дальнейшего разрушения. Чем разнообразнее состав породы, тем быстрее она подвергается разрушению, благодаря различному коэффициенту линейного и объемного расширения минералов.

В условиях пустынь с очень резкой сменой температуры дня и ночи этот процесс приводит к явлению отшелушивания (десквамации). Особенно энергичен он в горных районах при наличии воды, которая, попав в поры и трещинки породы, при смене температур также, то сжимаясь, то расширяясь, помогает ее дальнейшему разрушению.

Под действием лучистой энергии Солнца земная поверхность нагревается неравномерно. Это обуславливает различное давление на разных ее участках, что в свою очередь вызывает перемещение воздушного потока с участков с высоким давлением в участки с низким давлением. При этом воздушный поток приобретает определенную кинетическую энергию, способную совершать работу. Величина ее определяется скоростью перемещения воздушного потока, зависящей от разницы в давлениях между участками. Благодаря этой энергии ветер переносит песчинки, пыль, иногда даже различные обломки пород небольшого диаметра на то или иное расстояние. Происходит или перенос во взвешенном состоянии или путем волочения, перекатывания в результате действия и противодействия между силой ветра и силой тяжести переносимого материала. Силы тяжести действуют постоянно, поэтому по мере ослабления силы ветра эоловый материал оседает.

Наконец, водные потоки (дождевые и речные) при движении в пониженные участки разрушают породы, по

которым они протекают. Причем чем ниже базис эрозии, тем интенсивнее процессы разрушения, эрозии и денудации. Величина разрушительной работы водного потока зависит как от его силы, так и от прочности пород.

На соотношение экзогенных и эндогенных процессов существенное влияние оказывает живая природа, развитие организмов. Жизнь, как известно, связана с литосферой, гидросферой и атмосферой: в атмосфере она распространена примерно до высоты 6, а в лито- и гидросферах до глубины 11,5 км. Однако интенсивные проявления жизни наблюдаются непосредственно около земной поверхности.

Воздействие органического мира на геологическую историю Земли выразилось в образовании активных реагентов — кислорода, азота, углекислого газа и органических кислот, в обмене веществ земной коры с внешними геосферами и в обогащении ее качественно новыми веществами — такими, как каменный уголь, горючие сланцы и газ, сапрпель, нефть и т. д.

Активные реагенты (кислород, углекислый газ, органические кислоты) *увеличили скорость течения экзогенных процессов* химического и механического выветривания, эрозии и денудации и миграции веществ.

Органическая жизнь является своеобразным аккумулятором солнечной энергии в измененном виде. Как известно, с помощью хлорофилла в растениях совершается фотосинтез — в строгом соответствии с законом сохранения энергии: солнечная энергия, поглощенная хлорофиллом, передается на совершение химических реакций, ведущих к образованию из углекислого газа и воды органических веществ, в которых преобразованная энергия Солнца запасается в виде потенциальной химической энергии.

Кроме ассимиляции, органическая жизнь совершает и обратный процесс окисления веществ с образованием полностью окисленных соединений углекислого газа и воды с выделением тепла. Окисление идет самопроизвольно благодаря высокому сродству атомов кислорода с атомами углерода и водорода. В природе наблюдается перевес фотосинтеза над окислением, что способствует накоплению органического материала и горючих полезных ископаемых.

После отмирания организмов органические вещества подвергаются ряду новых химических превращений, накапливаются в виде чистого восстановленного углерода, захороняются и тем самым увеличивают внутреннюю энергию Земли. Иначе говоря, способствуют осуществлению колоссального круговорота вещества и энергии на Земле.

Таким образом, в разных геологических явлениях соотношение экзогенных и эндогенных процессов изменяется. Эта особенность рассматриваемого противоречия геологического развития является весьма характерной. Производственная (а затем и научно-экспериментаторская) деятельность человека с развитием техники также становится существенным фактором. Уже в настоящее время вызванные человеком экзогенные процессы (добыча ископаемых, увеличение содержания углерода и ряда других элементов в атмосфере и водах, создание искусственных морей и т. д.) стали соизмеримыми с силами самой природы, а их возрастающее воздействие на геологические процессы приходится учитывать не только под углом зрения ближайшего эффекта, который они могут дать в настоящее время в данной области, но и под углом зрения более отдаленных последствий и не только в данной, но и в других областях.

ДИАЛЕКТИКА НЕРВНЫХ ПРОЦЕССОВ

И. А. РЫБИН

Познание природы нервных процессов является одной из важнейших и интереснейших проблем биологии. Нервные процессы охватывают широкий круг явлений, относящихся к деятельности системы, состоящей из громадного числа специализированных клеток — нейронов.

Нейрон — элементарная функциональная ячейка нервной системы — является относительно самостоятельной структурной единицей нервного аппарата; ее функциональные свойства определяются внутренней организацией и внутренними субклеточными процессами. Изучение жизнедеятельности нервных клеток — один из основных путей познания нервной системы.

Деятельность нервной клетки есть проявление внутриклеточных процессов. Изменение функционального состояния нейрона непосредственно связано с воздействием на него других нейронов и иннервируемых органов.

Изучение механизма межнейронных взаимодействий — другая важнейшая сторона проблемы нервных процессов. Нервная система — это совокупность не идентичных, тождественных элементов, а единство дифференцированных, специализированных в зависимости от их функциональной роли нейронов. Изучение характера межнейронных связей имеет решающее значение в понимании функциональной роли тех или иных структур в нервных процессах. Функционирование нервной системы

в целом, протекающие в ней процессы есть результат взаимодействия организма с внешней средой и связи нервной системы с внутренними органами. Рецепторные связи нервной системы с внешней средой (при помощи органов чувств) и с внутренней (при помощи интерорецепции) осуществляют непрерывное и гибкое взаимодействие нервной системы с ними, определяют направленность и характер протекающих в ней процессов.

Таким образом, нервную деятельность характеризуют: взаимосвязь нервных процессов с внешними воздействиями; внутренние источники функционирования нейрона и межнейронные взаимодействия. Развитие этих представлений началось с выяснения взаимосвязи нервных процессов с воздействиями внешних факторов, которые получили название раздражителей, а сам процесс воздействия назван раздражением.

В начале прошлого века была установлена зависимость между интенсивностью ощущения и интенсивностью раздражения, известная в физиологии под названием закона Вебера — Фехнера. Согласно этому закону, интенсивность ощущения прямо пропорциональна логарифму интенсивности физического раздражения. Закон Вебера — Фехнера справедлив только в известных пределах раздражения, тем не менее он указывал на адекватность ответа сенсорных систем на внешнее воздействие и на существование определенной функциональной связи между раздражением и физиологическими процессами, вызванными этим раздражением. Было установлено, что такими процессами являются нервные процессы, которые возникают в периферических окончаниях нервной системы и достигают центральных отделов мозга. Скорость этих процессов, измеренная Гельмгольцем, составляла величину около 100 м/сек у теплокровных животных.

Новый подход к изучению нервных процессов, возникающих в ответ на раздражение, наметился после открытия Гальвани «животного электричества». Гальвани обнаружил эффект сокращения мышцы лягушки в ответ на раздражение ее электрическим током и указал на возможность существования электрических процессов в живой ткани. Бесспорные доказательства наличия электродвижущих сил в живых тканях были представлены Маттеучи в первой половине XIX в. Примерно к тому же

времени относится открытие важного электрофизиологического факта Дюбуа-Реймоном, что нервы¹ не только возбуждаются, как и мышечная ткань, под действием электрических токов, но и сами порождают токи в процессе своей деятельности.

В результате проведенных исследований механизма нервной деятельности была открыта возможность непосредственного наблюдения за протеканием нервных процессов. В основе их лежит возбуждение, возникающее в нервных клетках при раздражении. Возбуждение присуще не только нервной ткани. Оно является общим свойством живой материи. Но в нервных клетках возбуждение обладает рядом специфических свойств, присущих только нервным клеткам. К таким свойствам относится способность проведения возбуждения от раздражаемого участка вдоль нервных волокон.

Дальнейший путь развития физиологии нервных процессов и был направлен на изучение специфики процессов возбуждения, протекающих в нервных клетках. Решающее значение в этих исследованиях имело изучение биоэлектрической активности нервной клетки. Открытие способности электрического тока вызывать возбуждение в живых тканях имело и еще одно важное следствие. Оно позволило дать четкую качественную и количественную оценку раздражающего фактора: электрический раздражитель или, как принято говорить, стимул возможно дозировать по силе, длительности и форме. Это в значительной степени облегчало задачу исследования взаимодействия раздражителя и нервной ткани и позволяло выявить наиболее существенные результаты этого взаимодействия.

Опыты с электрическим раздражителем приводят в последней четверти прошлого века к установлению функциональной зависимости между интенсивностью и длительностью порогового раздражения, т. е. такого раздражения, когда меньший стимул уже не способен вызвать возбуждение. Авторы открытия — Хорвег и Вейсс — представили ее в виде гиперболической функции:

$$J = \frac{a}{t} + b,$$

¹ Нерв представляет пучок нервных волокон, так называемых аксонов — длинных отростков нервных клеток.

где t — длительность стимула, J — интенсивность, a и b — постоянные. Из этой зависимости следовало, что возбуждение наступает только в том случае, если внешнее воздействие обладает достаточной силой и продолжительностью. Причем, чем меньше сила стимула, тем дольше должно длиться раздражение. Подобная зависимость свидетельствовала, по-видимому, о том, что для возникновения возбуждения раздражитель должен совершить в нервной ткани некоторую работу, величина которой постоянна для порогового стимула.

Значило ли это, что работа раздражителя является энергетическим источником нервного движения, и всё последующее развитие и распространение нервного процесса лишь цепь последовательных реакций, использующих поглощенную энергию? Техническое несовершенство приборов того времени не позволяло ответить на этот вопрос и приводило к упрощенным представлениям нервных процессов. Так, известный немецкий физиолог Герман высказывал предположение, что проведение возбуждения вдоль нервного волокна состоит в том, что каждый предшествующий участок вызывает электрическое раздражение последующего, и указывал на определенное сходство волокна с электрическим кабелем.

Более поздние исследования показали, что возбуждение возникает в форме нервного импульса, длящегося тысячные доли секунды, после чего состояние покоя восстанавливается. Возникшее кратковременное возбуждение резко возрастает до своего максимального значения, причем этот максимум остается постоянным при любых раздражениях, способных вызвать возбуждение. Способность нервных клеток отвечать на любое надпороговое раздражение максимальным возбуждением, неизменным по величине, получило название закона «всё или ничего». Подобная реакция свидетельствует о том, что возбуждение является результатом внутренних процессов, протекающих в нервных тканях, а раздражение — лишь внешний толчок для включения внутренних механизмов нервного импульса.

Из установленной Хорвегом и Вейссом зависимости следовало, что при любой фиксированной длительности раздражения интенсивность его должна быть вполне определенной для вызова возбуждения. Это обстоятельство позволило дать более точную оценку другой физио-

логической характеристике — возбудимости, т. е. способности к возбуждению. Возбудимость, как и возбуждение, есть общее свойство живой материи. Возбудимость нервного препарата, очевидно, можно оценить по степени чувствительности его на изменения во внешней среде. Чем возбудимее ткань, тем на меньшую интенсивность раздражения она реагирует, и наоборот. Поэтому возбудимость можно количественно охарактеризовать величиной, обратной интенсивности порогового стимула фиксированной длительности. Чем меньше величина порогового стимула, тем выше возбудимость, чем больше, — тем менее возбудим объект. Способность нервного препарата переходить из состояния покоя в возбужденное состояние можно также охарактеризовать скоростью перехода к возбуждению и от возбуждения к покою. Количественная характеристика возбудимости по скорости таких переходов носит название функциональной подвижности. Одним из способов ее количественной оценки служит так называемая хронаксия — время, необходимое для возникновения возбуждения при фиксированной интенсивности раздражения, равной двум реобазам.

Установление количественной закономерности для параметров раздражения, вызывающего пороговое возбуждение, послужило толчком к анализу процессов, из которых складывается взаимодействие раздражителя и нервных клеток.

Естественно было допустить, что возникновению нервного импульса предшествует некоторый локальный, возникающий в месте раздражения, процесс, который носит градуальный, т. е. зависящий от интенсивности раздражения характер. Возникающий по закону «всё или ничего» импульс есть результат этой местной реакции.

Подобное допущение было сделано Блером при разработке математической теории возникновения возбуждения и впоследствии было подтверждено прямыми электрофизиологическими наблюдениями. Сущность теории Блера сводилась к предположению некоторой количественной зависимости между интенсивностью раздражения и величиной местной реакции E :

$$\frac{dE}{dt} = kI - mE,$$

I — интенсивность стимула, k и m — постоянные.

Полагая, что условием возникновения распространяющегося возбуждения должна быть некоторая величина местного возбуждения $h = E$ (h — порог возбуждения), Блер вывел теоретически количественную зависимость возникновения распространяющегося возбуждения от условий стимуляции. Однако в описании условий возникновения распространяющегося возбуждения исходное допущение (что местный процесс есть градуальный ответ нервной клетки на раздражение) оказалось недостаточным. Экспериментальная проверка теории показала, что и развитие местной реакции не есть только односторонний процесс. Был установлен и противоположный процесс, направленный к восстановлению и сохранению невозбужденного состояния (адаптация). Вслед за однофакторной теорией Блера была предложена двухфакторная теория (Рашевский и Хилл), в которой предполагалось наличие в нервных клетках двух противоположных процессов: возбуждения и торможения.

Однако двухфакторная теория, как и теория Блера, ставила в однозначную зависимость возбуждение и торможение от условий раздражения и тем самым рассматривала нервный процесс с точки зрения только взаимодействия раздражителя и нервной клетки, не как результат борьбы двух противоположных внутриклеточных процессов, а как сумму двух независимых результатов взаимодействия раздражающего фактора и возбудимого объекта.

Поэтому двухфакторная теория не смогла пойти дальше описания условия возникновения нервного импульса, хотя и более точного. Развитие нервного импульса оказалось за границей возможностей двухфакторной теории.

Двухфакторная теория содержала, однако, диалектическую, верную мысль о наличии двух противоположных тенденций внутри клетки, результатом столкновения которых и является нервный процесс. Выяснение природы этих тенденций и сущности внутренних источников перехода от возбуждения к торможению лежит в области субклеточных и молекулярных исследований.

Следовательно, мы должны теперь перейти к следующему из указанных в начале статьи моментов, к рассмотрению функциональных свойств и внутренних источников функционирования нейрона.

Основной формой активности нервной клетки считается генерация нервного импульса. Как уже говорилось, нервный импульс характеризуется резким возрастанием уровня возбуждения до максимума, сопровождаемого максимальным значением потенциала возбуждения (потенциал действия). Этот процесс напоминает автокаталитическую химическую реакцию или самовозбуждение в электронных системах с положительной обратной связью. Восстановление исходного состояния покоя происходит медленнее и имеет несколько иной характер (следовый потенциал).

Основной физиологической характеристикой всех последовательных изменений функционального состояния нейрона в развитии нервного импульса является возбудимость нейрона, которая дает возможность оценить способность его к возбуждению на любом этапе нервного процесса и тем самым установить направленность развития этого процесса: к более высокому уровню возбуждения или, наоборот, к покою и торможению.

Развивающаяся в результате раздражения местная реакция зависит от специфики раздражителя и сопровождается поляризацией раздражаемого участка. При стимуляции электрическим током под отрицательным электродом наблюдается возникновение отрицательной поляризации, так называемой деполяризации, а под анодом — положительной поляризации (гиперполяризации). Возбудимость повышается при деполяризации и снижается при гиперполяризации.

Если исходить из предположения о двух противоположных процессах, как это было сделано в математических теориях Рашевского и Хилла, то эти данные подтверждают теорию и кроме того указывают на то, что электрический стимул способен ускорять либо процесс подпорогового возбуждения, либо процесс торможения и тем самым сдвигать функциональное состояние нейрона либо в сторону возбуждения, либо к более глубокому покою.

Генерация нервного импульса представляет не зависящий от раздражителя процесс, развивающийся вследствие местной деполяризации. Возбудимость, которая повышается при местной деполяризации, при достижении максимального уровня возбуждения падает до нуля. Состояние максимального возбуждения, характеризу-

мое полным отсутствием дальнейшей возбудимости, называется абсолютной рефрактерной фазой. В абсолютной рефрактерной фазе возбуждение переходит в свою противоположность — торможение, но, в отличие от понижения возбудимости при местной гиперполяризации, торможение здесь есть результат развития возбуждения, оно выступает как крайняя степень возбуждения, при которой нервная клетка уже неспособна к дальнейшей генерации возбуждения.

Затем начинается восстановление исходного состояния покоя. Период течения нервного процесса от абсолютной рефрактерной фазы до полного восстановления первоначальной возбудимости называется относительной рефрактерной фазой. Он характеризуется снижением биопотенциала к исходному уровню и возбудимостью, которая ниже исходного значения. Следовательно, здесь наблюдается выход из тормозного состояния и восстановление способности нейрона к возбуждению.

Для понимания природы описанного здесь процесса первого возбуждения, а также других форм нервной деятельности отправным пунктом послужила способность нервных клеток к генерации электрических потенциалов. Многочисленные исследования убедительно показали, что электрогенные свойства нейронов связаны с их функциональным состоянием и несомненно являются жизненно необходимой функцией нервных клеток. В частности это подтверждается тем фундаментальным фактом, что градиент электрического потенциала поддерживается и в невозбужденном состоянии (так называемый потенциал покоя). Гибель клетки всегда сопровождается исчезновением электрического потенциала.

Электрические явления хорошо изучены физикой, и материальные носители их известны, поэтому с самого начала развития электрофизиологии усилия исследователей были направлены к установлению внутриклеточных процессов, приводящих к электрогенезу и обнаружению внутриклеточных структур и компонент, участвующих в этом процессе.

Изучение состава клеточной протоплазмы показало, что она содержит неорганические ионы калия, натрия, хлора, а также крупные органические ионы. Было также установлено, что содержание ионов в клеточной прото-

плазме и наружной среде различно. Неравномерное распределение заряженных частиц, несомненно, должно было приводить к градиенту электрического потенциала.

Наиболее важным вопросом в объяснении возникновения разности потенциалов было установление причины неравномерного распределения ионов — источника электродвижущей силы (ЭДС).

Согласно принятым в настоящее время представлениям, причиной ЭДС является наличие поверхностной структуры клетки — мембраны, представляющей бимолекулярный слой с наружной белковой оболочкой. Предположение о том, что этот липоидный слой служит барьером для диффузии ионных растворов, согласуется со многими экспериментальными данными по измерению проницаемости мембраны.

Наиболее характерное разделение ионов, благодаря наличию мембраны, проявляется в асимметрии распределения ионов калия и натрия. Концентрация калия примерно в 20—30 раз больше в протоплазме клетки, чем снаружи. Концентрация натрия же, напротив, значительно больше в наружной среде (примерно в 10 раз). Это, столь противоположное, поведение ионов, имеющих один и тот же положительный заряд, во-первых, свидетельствует о том, что мембрана хорошо проницаема для калия и плохо проницаема для натрия, во-вторых, указывает на противоположную роль их в электрогенезе. Это нашло свое подтверждение в опытах, в которых устанавливалась зависимость проницаемости мембраны и потенциала на мембране. Оказалось, что изменение последнего ведет к изменению проницаемости, причем проницаемость для ионов калия и натрия изменяется противоположным образом (опыты Ходжкина и Хаксли). В свете этих данных изменение проницаемости складывается из двух противоположных процессов, связанных с ионами калия и натрия.

Развитие нервного импульса, исходя из этих внутриклеточных изменений, представляется следующим образом. Раздражение производит первичную деполяризацию мембраны. Обусловленное этим увеличение проницаемости для ионов натрия ведет к просачиванию натрия внутрь волокна, где их концентрация ниже. В результате положительные заряды переносятся внутрь клетки и мембрана еще больше деполяризуется. Это в

свою очередь увеличивает проницаемость мембраны и т. д. Следовательно, регенеративное возникновение нервного импульса обусловлено положительной обратной связью между проницаемостью натрия и падением мембранного потенциала. По мере развития этого процесса включается механизм проникновения калия наружу — процесса, противоположного движению натрия. Перераспределение калия приводит к уменьшению мембранной проницаемости и восстановлению потенциала покоя.

Можно заметить, что ионные процессы, противоположность которых мы только что отметили, выступают не сами по себе, а при посредстве поверхностной клеточной структуры — мембраны. Возникает естественный вопрос, который уже ставится современной биологией клеточных и молекулярных структур: является ли эта противоположность в поведении ионов главной причиной биоэлектрической активности или она носит «снятый» характер и причину следует искать значительно глубже? Иными словами, какова роль мембраны и какова роль ионных процессов в развитии возбуждения клетки?

Физико-химические силы, под действием которых вещества проходят сквозь мембраны, можно разделить на три категории: 1) силы, обусловленные градиентом химической активности, в том числе различиями в ее концентрациях и коэффициентах; 2) силы, обусловленные градиентом электрического потенциала; 3) силы, действующие на растворенные вещества при протекании растворителя через заполненные ими каналы. Анализ участия этих сил в неравномерном распределении ионов калия и натрия показал, что распределение натрия и в некоторой степени калия невозможно объяснить ни в отдельности, ни в целом только этими силами. Для такого объяснения необходимо представление об активном переносе, т. е. о некотором метаболическом процессе, когда протекающие в клетках метаболические реакции доставляют энергию для продвижения ионов против электрохимического градиента с такой же скоростью, с какой они перемещаются в направлении этого градиента.

Существование прямой связи между клеточным обменом веществ и активным выведением натрия из клетки экспериментально впервые продемонстрировали

Ходжкин и Кейнес, которые наблюдали прекращение выхода меченого натрия после обработки аксона нервной клетки некоторыми ингибиторами обмена. Это изменение было обратимым, причем оно специфически затрагивало лишь скорость выведения натрия, но не его просачивание в клетку. Позднее Колдуэлл и Кейнес показали, что аксон, обработанный цианидом (ингибитором обмена), временно возобновляет «перекачивание» натрия, если в аксоплазму ввести некоторое количество аденозинтрифосфата. Далее было установлено, что метаболический механизм выведения натрия тесно связан с поглощением калия. Наиболее характерен тот факт, что скорость выведения натрия сильно снижается при отсутствии калия в наружном растворе и что вообще скорости поглощения калия и выведения натрия изменяются одновременно и параллельно друг другу. Яркое проявление органического единства противоположных начал биоэлектрической активности!

Таким образом, устанавливается связь специфической функции нервной клетки — биоэлектрической активности — со всеобщим свойством живой материи — обменом веществ. Связь с метаболизмом — необходимое звено в сложной картине взаимодействия внутриклеточных процессов; это то, что восполняет необратимые затраты энергии на поддержание активного состояния «готовности» к выполнению основной функции нервной клетки — возбуждения и генерации нервного импульса.

Однако проблема участия обмена веществ в нервных процессах не ограничивается только выяснением биохимических превращений в поверхностной структуре, обуславливающих специфическую проницаемость мембраны, и рассмотрением этих процессов как энергетического источника поддержания активного состояния нервной клетки. Современные данные биохимии нервных процессов указывают на непосредственное участие обменных процессов в генерации и проведении нервного возбуждения.

В 1961 г. Беккер, Ходжкин и Шоу показали возможность генерации потенциала покоя и потенциала действия при почти полной замене аксоплазмы на соответствующие солевые растворы. Этот опыт, с одной стороны, подтвердил исходную посылку мембранной теории,

что одной из основных причин биоэлектрической активности является оболочка клетки, но с другой, он показал, что ионные процессы и ионные биопотенциалы есть следствие интимных процессов в оболочке клетки. На основании этого и других экспериментов ряд крупных исследователей (Тасаки, Спиропоулос, Кокетцу и др.) подверг сомнению исходные представления мембранной теории; было высказано принципиально новое положение о том, что генерация различных форм электрической активности связана не с реализацией энергии ионных градиентов, а со свойствами самой мембраны, которая способна с помощью специальных химических реакций создавать различные формы ЭДС. Таким образом, приведенные данные позволяют думать, что ионные процессы и их противоположность не есть основное противоречие нервного процесса, а лишь внешнее проявление глубинных жизненных явлений, происходящих в структуре нервной клетки. Это обстоятельство является очень важным в понимании диалектики нервных процессов.

Метаболический аспект нервной деятельности в явном виде выступает в межнейронных взаимодействиях, к рассмотрению которых мы и переходим.

Нервные процессы, возникающие в одних клетках, могут вызывать изменения в функциональном состоянии других клеток путем передачи возбуждения в точках соприкосновения — синапсах. Характерной морфологической особенностью синаптической связи является то, что в области синапса, как подтверждают данные электронной микроскопии, мембраны клеток не сливаются и не соприкасаются друг с другом. Это значит, что биоэлектрический процесс возбуждения, распространяющийся по аксону нервной клетки, в области синапса претерпевает некоторый «разрыв», поскольку прерывается мембранный механизм передачи возбуждения. Следовательно, механизм синаптической передачи должен иметь качественное отличие от того, который передает нервный импульс по аксону. Это экспериментально подтверждается тем, что все синапсы действуют только в одном направлении — от пресинаптической мембраны к постсинаптической; в аксонах же нервный импульс может распространяться в обоих направлениях.

В настоящее время доказано, что в синапсах происходит главным образом химическая передача нервного

процесса, но в разных случаях в ней участвуют совершенно различные вещества, из которых идентифицированы лишь немногие, в частности, ацетилхолин. Принципиально возможен и электрический способ передачи — когда в результате возбуждения пресинаптической мембраны возникает электрический ток, способный вызвать возбуждение постсинаптической мембраны. Однако такое взаимодействие может быть только побочным явлением в синаптической передаче.

Химическая передача характеризуется совершенно новым механизмом, свойственным только синапсу. В этом случае предполагается, что обычный контакт в точке соприкосновения двух клеток нарушен и вместо него действует химический посредник (медиатор). Нервный импульс вызывает освобождение специфического химического стимулятора, который синтезируется и накапливается внутри нервного окончания. После высвобождения это вещество присоединяется к молекулам особого вещества (рецептора) в поверхностном слое постсинаптической мембраны воспринимающей (эффекторной) клетки; это ведет к изменению мембранного потенциала на ней, вызывает местную деполяризацию клетки, и при достижении порогового значения деполяризации эффекторная клетка генерирует потенциал действия. Следовательно, передающая возбуждение клетка на своей мембране вызывает химический процесс, который является для постсинаптической мембраны эффекторной клетки химическим раздражителем. Возникновение возбуждения эффекторной клетки аналогично тому, что наблюдается при стимуляции клетки внешним раздражителем, с той лишь разницей, что здесь действует специфический хемостимулятор.

Непосредственная связь метаболизма медиаторов (ацетилхолина) с электрогенными нервными процессами на поверхности клетки была показана Нахманзоном и его сотрудниками, а стимулирующее действие ацетилхолина — Леви.

В зависимости от степени и специфичности действия медиатора мембранный потенциал либо уменьшается (деполяризация), либо стабилизируется на уровне, мало отличающемся от уровня покоя, либо даже стремится несколько повыситься (гиперполяризация). В первом случае наступает возбуждение, в двух последних —

торможение. Следовательно, медиатор выступает не просто как раздражитель, но и как химический регулятор нервных влияний, оказываемых одной клеткой на другую.

Механизм действия медиаторов невозможно понять, рассматривая химическую передачу нервного процесса лишь как однонаправленную реакцию действия выделяемого активного вещества на постсинаптическую мембрану. Эффект действия медиаторов становится ясным только при учете той биохимической системы, которая связана как с синтезом, так и с разрушением медиаторов. Например, для ацетилхолина важно иметь в виду систему: холинэстераза — ацетилхолин — холинэстераза. Доказательство этому было получено гистохимическим анализом мест скопления ацетилхолина, где была обнаружена высокая концентрация ферментов (холинэстеразы), которые быстро нейтрализуют медиатор, как только он произведет свое действие. Процесс разрушения медиаторов, направленный на восстановление исходного состояния, является необходимым компонентом биохимического звена нервных процессов.

Многолетними исследованиями Х. С. Коштыянца было показано, что нарушение передачи нервного возбуждения можно вызвать как вмешательством в звенья клеточного обмена веществ, которые ведут к образованию медиаторов, так и исключением промежуточных звеньев биохимического цикла, который связывает специфический обмен медиаторов с целью химических превращений иннервируемого органа.

Особенное внимание в исследованиях Коштыянца заслуживает постановка проблемы связи химических механизмов нервных процессов с белковой структурой клеток и процессами, протекающими в них. Определяя роль биохимических процессов возбуждения, Коштыянец следующим образом сформулировал эту проблему: «Согласно развиваемой нами энзимохимической гипотезе нервного возбуждения, такие вещества, как ацетилхолин, адреналин, гистамин и другие возможные передатчики нервного возбуждения, во-первых, сами являются продуктами специфического обмена веществ нервной системы или соответствующих промежуточных образований и, во-вторых, оказываются активными постольку, поскольку включаются в цепь тех хемодинамических про-

цессов, которые лежат в основе функциональной активности иннервируемых органов»².

Экспериментальные доказательства связи медиаторов с белковым обменом были получены путем наблюдения действия ацетилхолина при подавлении и активации белкового обмена. Так было показано, что действие ацетилхолина резко снижается при блокировании сульфгидрильных групп белковых молекул и полностью восстанавливается при помощи веществ, содержащих сульфгидрильные группы.

Итак, данные, которыми располагает современная наука, о химическом механизме передачи первого возбуждения дополняют картину нервной деятельности как процесса биоэлектрической активности новым качественным моментом — химизмом нервных процессов и диалектической связью с обменом веществ и со свойствами белковых клеточных структур.

Анализ развития нервных процессов и противоречий, характерных для них, нам хотелось бы закончить рассмотрением особого вида возбуждения, наблюдающегося в нервах, — парабиотического возбуждения. Поскольку нерв состоит из большого числа нервных волокон, то по существу мы будем рассматривать некоторую интегральную форму нервной активности, которая, с одной стороны, очевидно, должна складываться из нервных процессов в отдельных аксонах, а с другой — обладать качественными чертами интегральной деятельности.

Парабиотическое возбуждение развивается при длительном раздражающем воздействии — альтерации. В этом случае наблюдается стойкое нераспространяющееся изменение функциональных свойств раздражаемого участка нерва, которое углубляется по мере действия раздражающего или, как принято говорить, альтерирующего воздействия. Этот процесс, названный Н. Е. Введенским «застойным неколеблющимся состоянием возбуждения», может закончиться гибелью нервной клетки; если же альтерирующее воздействие снять, исходное состояние быстро восстанавливается. Введенский указал, что парабиоз — это такое же состояние возбудимой субстан-

² Х. С. Коштоянц. Проблемы энзимохимии процессов возбуждения и торможения и эволюции функций нервной системы. М., 1963, стр. 5.

ции, как и кратковременное возбуждение, нервный импульс. Известно, что и И. П. Павлов считал закономерности парабиоза, открытого Введенским на периферических образованиях, внутренним свойством нервной системы и указывал на ряд особенностей высшей нервной деятельности, имеющих сходство с парабиотическими изменениями.

В дальнейшем представители физиологической школы Введенского — Ухтомского показали наличие парабиотических состояний в центральных частях нервной системы, взаимосвязь и влияние их на функциональное состояние периферических нервных образований (Васильев, Голиков и др.).

Альтерирующее воздействие может быть самым разнообразным: химическим, электрическим, тепловым. Каждый из этих факторов специфически влияет на нерв. Если бы парабиотический процесс был только результатом взаимодействия альтерирующего фактора и нервной ткани, каждый раз наблюдалась бы специфическая картина парабиотического процесса. Если бы влияние альтерации на нерв было основным источником движения парабиотического процесса, из экспериментов должна была вытекать качественная зависимость парабиотического процесса от специфики раздражителя, т. е. основные черты парабиотических состояний определялись бы качеством альтерирующего фактора. Данные физиологии парабиоза свидетельствуют, что парабиотический процесс не есть результат только альтерации.

Обратимся к экспериментальным данным. Так же, как и при генерации нервного импульса, основной физиологической характеристикой функционального состояния при парабиозе является возбудимость — способность парабиотизированного участка к генерации нервного импульса. Развитие парабиоза, так же как и нервного импульса, сопровождается биоэлектрической активностью. В последовательности развития парабиоза от невозбужденного состояния до самой глубокой стадии (далее которой происходит необратимый процесс гибели клеток) наблюдаются три его фазы: начальная или продромическая, переходная и конечная, характеризующиеся различной возбудимостью и разной величиной парабиотической поляризации. От характера альтерирующего воздействия зависит длительность фаз и их выраженность.

Но каким бы видом альтерации ни был вызван парабютический процесс, последовательность фаз сохраняется.

Продромическая, начальная фаза характеризуется развитием электроположительности альтерируемого участка и пониженной возбудимостью. Продолжительность этой фазы и уровень электропозитивности зависят от специфики воздействия. Чтобы понять происхождение данной фазы, следует вспомнить некоторые особенности местной реакции нервной клетки на раздражение. Как мы уже говорили, кратковременное возбуждение возникает при раздражении электрическим током на катоде. Нанесение электроотрицательного раздражения вызывает повышение возбудимости. Сам нервный импульс характеризуется отрицательным по отношению к возбужденным участкам колебанием потенциала, поэтому при распространении он вызывает повышение возбудимости нервных элементов на своем пути и их возбуждение. В области анода возникает пониженная возбудимость и положительная поляризация. Следовательно, катод является в силу своей однополярности с потенциалом действия адекватным раздражителем, смещающим динамическое равновесие покоя в сторону возбуждения, тогда как анод вызывает понижение возбудимости, смещая исходное «соотношение сил» в сторону торможения. Продромическая фаза характерна тем, что она наиболее ярко выражена при альтерации анодом и отсутствует при альтерации катодом. Все другие альтерирующие агенты — химические, тепловые — по длительности и выраженности продромической фазы занимают промежуточное положение. Причем, те из них, которые обладают раздражающим действием, близким к катоду, имеют менее выраженную и более короткую начальную фазу и наоборот.

Переходная фаза, следующая после продромической, отличается повышенной возбудимостью и переходом парабютической поляризации через нулевую точку в область электронегативности. Переход от электроположительности к электронегативности, от пониженной возбудимости к повышенной не мог бы иметь места, если бы парабютиоз был лишь однонаправленным процессом подавления нервной функции постоянно действующим альтерирующим фактором. Он не возник бы и в случае, когда в возбудимом участке протекали бы противоположные,

но не связанные друг с другом процессы, так как ускорение течения одного из них под действием альтерации не могло бы перейти в ускорение течения другого без их внутренней взаимосвязи.

Конечная фаза парабиоза, наступающая вслед за переходной, углубляет электронегативную поляризацию. Возбудимость в этой фазе парабиоза трижды меняет свой характер, вследствие чего конечная фаза проходит три стадии: уравнительную, парадоксальную и тормозную. В течение уравнительной стадии возбудимость остается постоянной для надпороговых стимулов различной силы. Раздражение не может повлиять на скорость течения внутренних процессов, приводящих к генерации первого импульса. Потенциал действия в уравнительной стадии ниже нормального, что может быть связано с развитием деполяризации, вызванной альтерацией и снижающей исходный уровень потенциала.

В парадоксальной стадии наблюдается бóльшая (относительно) возбудимость на стимулы меньшей силы, чем на стимулы большей силы. Наблюдается извращение, парадоксальность возбудимости. Объясняется это тем, что процесс углубления парабиотического состояния приближается к своему максимуму, когда возбуждение переходит в свою противоположность — торможение. В этом состоянии любой кратковременный стимул, углубляющий электронегативность, приближает наступление торможения, поэтому на меньший стимул нерв отвечает относительно большей возбудимостью, чем на больший.

В тормозной стадии парабиоза возбудимость отсутствует — возбуждение перешло в свою противоположность — торможение.

В течение всех этих стадий электронегативная поляризация растет и в тормозной стадии достигает максимально возможного значения. Функциональное состояние в конечной фазе является противоположностью, отрицанием начальной продромической фазы. Течение парабиотического процесса от переходной фазы до тормозной стадии конечной фазы характеризуется переходом от повышенной возбудимости к полному ее отсутствию в тормозной стадии парабиоза. Вспомним развитие нервного импульса с момента его возникновения до максимального значения биопотенциала действия. Там также наблюдался переход от повышенной возбудимости

к ее отсутствию — конечное состояние было противоположностью начального.

Логическим следствием анализа парабактерического состояния являлась мысль о единой природе возбуждения как в виде нервного импульса, так и в форме парабактерического возбуждения нерва. Об этом говорит ряд сходных черт этих процессов. Парабиоз наблюдается как интегральная деятельность многих нервных волокон, и было бы ошибочным полностью отождествлять нерв и отдельные аксоны нервных клеток; однако, чтобы понять эту интегральную деятельность, необходимо выяснить, что в ней является простой суммой эффектов действия отдельных аксонов, а что является качественно новым и несводимым к отдельному. Весьма интересные данные были получены в результате недавних исследований ленинградских физиологов (Гуляев, Рудашевский, Воронов). Они обнаружили, что между абсолютной и относительной рефрактерными фазами возбуждения, возникающего в виде нервного импульса, наблюдается период парадоксальности, аналогичный парадоксальной стадии парабактериоза.

Какие же выводы позволяют сделать рассмотренные выше черты нервных процессов, протекающих при взаимодействии нервных клеток с внешним раздражителем, внутри нейрона, между нервными клетками и в нервных стволах при парабактерическом возбуждении?

Нервная деятельность складывается из взаимодействия организма с внешней средой, внутриклеточных процессов и межнейронных связей. Каждая из этих сторон функционирования нервной системы обладает своими характерными особенностями, а сочетание их составляет диалектическое единство нервного процесса. Раздражение и вызванная им подпороговая реакция приводят к возникновению нервного импульса, градуальное подпороговое возбуждение переходит в нервный импульс, процесс, качественно отличный от первоначального: величина его не зависит от силы стимула, а формируется внутриклеточными механизмами возбуждения. Нервный импульс, распространяясь вдоль аксонов нервных клеток и достигая синаптических окончаний, переходит в новую форму нервного процесса — деятельность медиаторного механизма, осуществляющего связь между клетками.

Нервный процесс на всех этапах выражается во взаимных переходах состояний возбуждения и торможения, т. е. развитие его обусловлено противоречием. Единство возбуждения и торможения и их взаимные переходы составляют сущность нервного процесса как некоторой физиологической деятельности.

В основе нервного движения лежат биоэлектрические, биохимические и белково-структурные превращения, раскрывающие внутреннее содержание и внутренний смысл противоречий нервного процесса.

Возбуждение и торможение сопровождаются деполяризацией и гиперполяризацией. Причиной электрогенеза являются ионно-мембранные процессы, имеющие также противоречивый характер. Электроактивное состояние клеточной оболочки поддерживается за счет активного переноса ионов, непосредственно связанного с метаболизмом и направленного против сил физико-химической природы, возникающих вследствие электрохимического градиента.

Медиаторный механизм передачи нервных процессов в синапсах состоит из цикла последовательных превращений химически активного вещества — его синтеза, активации и инактивации, последовательно приводящих к возбуждению и торможению. Метаболический цикл медиаторов связан с клеточным обменом и с активацией и инактивацией белкового обмена.

Анализ противоречий биоэлектрической и биохимической форм проявления нервной активности приводит в конечном счете к выявлению их связи с существованием и обменом белковых тел в нервных клетках, т. е. с основным свойством и противоречием живой материи. Прослеживается диалектическая связь нервного процесса как некоторой особой формы жизнедеятельности организма с общим свойством живой материи — белковым обменом.

Таким образом, «пересечение» всех форм проявления нервной активности происходит в некотором «узле», составляющем биологическую сущность нервного процесса, его основное противоречие.

О ПРОТИВОРЕЧИВОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Е. Ф. МОЛЕВИЧ

Важнейшей философской проблемой современной биологии является противоречивость биологического развития. Существует ли определенная направленность органической эволюции и если существует, то каковы ее объективные тенденции, их внутренняя взаимосвязь — так с победой дарвинизма был поставлен вопрос в эволюционной биологии. И уже в высказываниях первых дарвинистов есть зерно будущих разногласий, создавших среди биологов-эволюционистов несколько различных направлений.

Так, признавший после больших колебаний идеи Дарвина известный английский натуралист Лайель и ближайший сподвижник Дарвина Гексли положили начало очень популярной в дальнейшем «персистентной» трактовке эволюционного процесса. Лайель и Гексли утверждали, что в течение огромной исторической эпохи, от палеозоя до современности, эволюция происходила не путем качественных перестроек, повышающих уровень организации животных и растений, а путем многообразного варьирования одних и тех же форм организации, применительно к частным условиям. По известной аналогии английского палеоботаника Скотта, процесс эволюции живого скорее можно сравнить с последовательными колебаниями морского прилива и отлива, чем с постоянным подъемом спокойной реки.

В конце XIX — начале XX в. подобные взгляды были подхвачены и усилены субъективистски настроенными учеными, которые выдвигают, в основном, следующий аргумент: все живое, говорят они, равно совершенно, поскольку все организмы, выживающие в борьбе за существование, равно приспособлены к своей среде и, следовательно, объективно равноценны.

С этой точки зрения, отмечает известный американский биолог Ф. Добжанский, человек не более совершенен, чем червяк или амеба, так как все живущее (т. е. все выжившее в борьбе за существование) равно «высоко» организовано для своей среды. Отсюда вывод: понятия «прогресса» и «регресса», «высшего» и «низшего» в науках о живой природе чисто субъективны, поэтому научного значения не имеют.

Методологической основой таких рассуждений является, главным образом, механицизм с его утверждением качественной равноценности материальных изменений. В действительности же по своим экологическим и эволюционным результатам приспособительные изменения качественно разнородны и, следовательно, разные морфо-физиологические приспособительные изменения имеют разное значение для развития.

Отрицание объективной направленности органической эволюции образует лишь один полюс в решении интересующей нас проблемы.

На другом ее полюсе находятся многочисленные концепции, абсолютизирующие роль прогресса в эволюционном процессе и во многих случаях прямо отождествляющие эволюцию с прогрессом. Не вдаваясь в анализ подобных представлений¹, отметим лишь их главную методологическую ошибку. Отождествляя прогресс с приспособительным эволюционным процессом, представители этих концепций лишают понятие прогресса какого-либо самостоятельного содержания, превращают его в простой синоним приспособительной эволюции. Тем самым они, по существу, смыкаются со своими противниками из лагеря субъективистов, отрицающих объективное существование прогресса именно в силу равной

¹ См. Е. Ф. Молевич. О прогрессивном развитии в живой природе.— «Философские науки», 1963, № 2.

приспособленности всех выживших в ходе эволюции организмов.

Но некоторые ученые полагают, что подобное отождествление органической эволюции с прогрессом вытекает из учения марксистской диалектики о развитии. Таково, например, мнение советского философа А. Е. Фурмана, автора нескольких книг по философским проблемам биологии, румынского философа-марксиста К. Боржеану и некоторых других исследователей. По их мнению, диалектически понятое развитие всегда прогрессивно, и поэтому органическая эволюция есть также прогресс.

Согласно А. Е. Фурману, всеобщая прогрессивная эволюция живой природы включает как свои составные моменты явления круговорота, одноплоскостности и регресса. К прогрессивному развитию автор относит даже такие явления, как вымирание видов, сокращение ареала обитания и т. д. Все попытки ряда исследователей разделить общий процесс развития на взаимосвязанные, но различно направленные конкретные формы, А. Е. Фурман рассматривает как отступление от диалектики. Так, например, критикует И. И. Мечникова за то, что он «не показывает, что прогресс представляет общее направление, в которое включаются и регрессивные явления и явления, не относящиеся ни к прогрессу, ни к регрессу. А это уже является недостатком, отходом от диалектического представления о развитии как изменении от простого к сложному, от низшего к высшему»². Почти тождественные положения развивает и К. Боржеану³.

В связи с этим возникает необходимость обратиться к классикам марксизма для ответа на вопрос о соотношении диалектически понимаемого развития и прогресса вообще.

Критикуя абсолютизацию прогресса младогегельянцами, Маркс и Энгельс еще в 40-е годы прошлого века писали: «Вопреки претензиям *«прогресса»*, постоянно наблюдаются случаи *регресса* и *кругового движения»*⁴.

² А. Е. Фурман. Возникновение и формирование диалектической концепции развития в биологии. М., 1961, стр. 160.

³ См. «Философские науки», 1959, № 3, стр. 21.

⁴ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 2, стр. 91.

«...Точное представление о вселенной, о ее развитии и о развитии человечества... может быть получено только диалектическическим путем, при постоянном внимании к общему взаимодействию между возникновением и исчезновением, между прогрессивными изменениями и изменениями регрессивными», — указывает Энгельс в «Анти-Дюринге»⁵, отмечая, таким образом, объективное существование не только прогресса, но и регресса и их противоречивую взаимосвязь в общем процессе бесконечного движения и развития.

Наконец, обращаясь к живой природе, Энгельс прямо указывает на двойственный характер приспособления организма к среде: «...приспособление может быть в целом как прогрессом, так и регрессом (например, приспособление к паразитической жизни *всегда* регресс)»⁶. Таким образом, основоположники марксизма видели в объективном мире не только прогресс, но и другие формы развития, и поэтому признание многогранности процесса развития, его противоречивости является существенной чертой марксистского понимания мира.

В 30—40-е годы широкое распространение получила формулировка, отождествлявшая развитие с прогрессом. Сторонники этой точки зрения утверждали, что в противоположность метафизически понимаемому развитию как движению по кругу, диалектика рассматривает развитие как движение поступательное, по восходящей линии, от простого к сложному от низшего к высшему. Таким образом, движению по кругу, развитию как повторению пройденного противопоставлялось не развитие как процесс появления качественно нового, а частный, хотя и самый важный случай развития — восхождение от низшего к высшему. Догматизация этой формулировки тяжело отразилась на многих естественнонаучных исследованиях и, в частности, на биологических, где она выразилась в настойчивых попытках ряда ученых «с позиций диалектики» «запретить» существование остальных форм эволюции.

Справедливость тезиса о многонаправленности процесса развития применительно к явлениям неорганиче-

⁵ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 22.

⁶ Там же, стр. 621.

ской материи в последние годы показали многие авторы⁷. Что же касается живой природы, то отождествлению органической эволюции с прогрессивным развитием противоречат, по меньшей мере, три группы фактов.

Первая из них связана, по меткому выражению известного немецкого зоолога Л. Плате, с тем, что дорога эволюции «усыпана камнями возвратного развития».

Примеры регрессивной эволюции настолько многочисленны и убедительны, что все попытки их игнорирования или втискивания в прокрустово ложе всеобщего прогресса заранее обречены на неудачу. Достаточно вспомнить слова Энгельса о том, что переход к паразитизму всегда регресс. Между тем, паразитических форм в настоящее время известно огромное количество. «Из 65 классов животного царства паразитических представителей имеют 31, т. е. почти половина, из них 11 являются чисто паразитическими»⁸.

Паразитические формы представлены во всех классах типа простейших, в 13 из 24 классов червей, в 5 классах из 9 типа членистоногих. В типе моллюсков обилием паразитических представителей выделяется класс брюхоногих моллюсков, в типе кишечнополостных паразитные формы отмечены в классах гидроидных и гребневиков. В целом, по подсчетам известного советского зоолога В. А. Догеля, общее количество известных в настоящее время видов паразитических животных равно 65—70 тыс., что составляет примерно 6—7% от общего числа видов животных.

Однако регрессивная эволюция не исчерпывается явлениями паразитного образа жизни. Она имеет место и в ходе освоения организмом более простой по своему содержанию среды, например, при переходе от наземного обитания к водному, при смене свободного, подвижного образа жизни на пассивный — сидячий, при замене активных органов защиты пассивными и т. д.

В этом отношении очень показателен недавно открытый новый тип беспозвоночных — погонофоры. Их характерная черта — отсутствие кишечника, ротового и аналь-

⁷ См. М. Н. Руткевич. Диалектический материализм. М., 1959; С. К. Всехсвятский и В. В. Казютинский. Рождение миров. М., 1961.

⁸ А. Г. Кнорре. Распространение паразитизма в животном царстве. — «Ученые записки ЛГУ», биол., 1937, т. 3, вып. 4, стр. 22.

ного отверстий. Изучавший эти организмы советский зоолог А. В. Иванов пришел к выводу об утрате погонофорами этих важных органов в связи с приспособлением к пассивному образу жизни на больших океанских глубинах⁹.

В связи с переходом к прикрепленному и глубоководному образу жизни регрессивно эволюционировали также губки, мшанки и плеченогие, отчасти иглокожие и некоторые формы моллюсков. В типе хордовых регрессивная эволюция представлена в подтипе полухордовых (птеробранхий) и особенно значительно в подтипе оболочников. Наконец, в подтипе позвоночных регрессивно эволюционировали отряды круглоротых и многие семейства отряда хвостатых амфибий, так называемые постоянножаберные амфибии.

В растительном мире регрессивная эволюция связана, в основном, с переходом от автотрофного питания к гетеротрофному, что влечет за собой утрату хлорофилла и существенное морфо-физиологическое упрощение организации растения. Наиболее часто редуцируют листья — органы, ставшие ненужными с переходом к гетеротрофности углеродного питания растения. Они превращаются в маленькие чешуйки или атрофируются совсем (заразиха, повилика, поддельник и т. д.). Корни, потерявшие в новых условиях свою роль органов поглощения из почвы минеральных солей и больших количеств воды, также очень часто редуцируют и атрофируются (омела, заразиха). Слабо развивается и стебель, утративший свою функцию носителя листьев и проводника между листьями и корнями. В новых условиях он служит в основном для образования органов размножения — цветов и семян. Сильно редуцируются проводящие и механические ткани стебля. В некоторых семействах можно наблюдать весь ряд подобных постепенно регрессирующих форм, например, в семействе Scrophulariaceae развитие идет от автотрофно питающихся форм *Veronica*, *Verbascum*, *Digitalis*, *Linaria* через зеленых полупаразитов с редуцированными корнями *Euphrasia*, *Pedicularis*, *Rhinanthus* к настоящему, лишенному хлорофилла, с редуцированными листьями и корнями паразиту *Lathraea*.

⁹ См. Зоол. журн., 1956, т. 35, вып. 12, стр. 1870—1871.

Регрессивная эволюция в мире растений имеется и при переходе высших наземных растений в более простую водную среду.

У цветковых растений при этом появляются тонко рассеченные или тесьмовидные листья, в различной степени упрощаются или совсем теряются корни, утрачиваются покровные, проводящие и механические ткани, исчезают устьица. Иногда видоизменяется даже цветок, приспособляющийся к водному опылению («морская трава», *Zostera*). В результате этого подобные растения, например семейство *Podostemaceae*, по внешнему виду становятся похожими на слоевища водорослей или мхов-печеночников. Аналогично регрессировали семейства рясковых и роголистниковых.

Некоторые ботаники полагают, что в растительном мире регрессивная эволюция ограничена областью макроэволюции, т. е. не выходит за пределы отдельных видов и родов, самое большее — семейств. Действительно, в отличие от животного мира здесь нет больших чисто регрессивных таксономических групп. Исключение, по-видимому, составляет тип грибов, утративший хлорофилл и полностью перешедший к гетеротрофному питанию. Для грибов, особенно паразитических, характерна чрезвычайно узкая специализация, приводящая к соответствующему сужению среды обитания. Так, например, грибы линейной ржавчины *Russinia graminis*, паразитирующие на пшенице, имеют около 200 физиологических рас, приспособленных к строго определенным разновидностям пшеницы. «Специализация паразитных грибов в отношении хозяина настолько значительна, что нередко служит целям классификации высших растений»¹⁰.

Для правильного понимания регрессивного развития в живой природе надо учесть также следующее. Регрессивное развитие нельзя рассматривать как простое «движение назад», повторяющее ранее пройденные прогрессивным развитием стадии, но в обратном порядке. Процессы развития необратимы, и движение от «нового» к «старому» невозможно. Регрессивное развитие, как и другие направления процесса развития, выражается в появлении качественно новых структур и образований, по с той специфической особенностью, что уровень органи-

¹⁰ П. М. Жуковский. Ботаника. М., 1949, стр. 247.

зации этих новых образований менес совершенен, нежели у исходных объектов.

Неверно, на наш взгляд, было бы рассматривать регрессивное развитие и как нечто временное, связанное с процессом упадка, старения, умирания. Хотя отдельные ученые и поддерживают эту точку зрения, тем не менее многочисленные факты органической истории указывают как раз на общую устойчивость и приспособительную выгоду явлений регресса. В связи с этим академик А. Н. Северцов отмечал, что мы можем считать достоверно установленным тот факт, что многие дегенерировавшие формы принадлежат к числу наиболее процветающих групп животного мира.

Таким образом, процессы прогрессивного развития в живой природе необходимо находят свою диалектическую противоположность в объективно существующих процессах регрессивного развития.

Другая группа фактов, противоречащих идее всеобщей прогрессивности развития живого, связана с длительным, иногда на протяжении нескольких геологических периодов, существованием отдельных растительных и животных форм без существенной морфо-физиологической перестройки. Подобная «биологическая стабилизация» (Шмальгаузен) известна во всех типах органического мира, занимает в некоторых из них даже доминирующее положение.

Так, среди простейших исключительную стойкость демонстрируют многочисленные представители отрядов фораминифер и радиолярий. Не только семейства, но и отдельные роды этих отрядов сохранились почти без перемен от начала палеозоя до наших дней. Таковы роды *Textularia* (с кембрия), *Nodosaria* (с силура), *Saccamina* (с карбона), *Spiraloculina* (с перми), *Cristellaria* (с триаса) и т. д.

Чрезвычайную консервативность организации демонстрируют типы губок, кишечнополостных, мшанок и плеченогих. В основном они сформировались еще в палеозое и мало изменились с тех пор.

Среди червей устойчивые формы распространены в больших классах ресничных и многощетинковых червей.

В 1952 г. экспедиционным судном «Галатhea» было выловлено в водах Мексиканского залива несколько моллюсков *Neopilina galatheaе*, по строению почти идентич-

ных докембрийским моноплакофорам. Консерватизм отличает и многие другие формы этого типа животных.

Наконец, многочисленные случаи стабилизации известны и в пределах наиболее прогрессивной ветви животных — позвоночных. В 1939 г. был пойман живой представитель кистеперых рыб — латимерия, сохранившаяся в почти неизменном состоянии с девона. В полном смысле «живым ископаемым» является известное новозеландское пресмыкающееся — гаттерия (сфенодон), принадлежащее к отряду, ставшему исходным в эволюции многих других групп пресмыкающихся — динозавров, ящериц и т. д. За истекшие 150 млн. лет строение гаттерии не изменилось. Большую стойкость демонстрируют и такие отряды класса пресмыкающихся, как черепахи (с триаса) и крокодилы (с мела).

Среди млекопитающих древнейшими и очень консервативными формами являются представители архаичных отрядов клоачных (ехидна, утконос), рукокрылых и неполнозубых — летучие мыши (с эоцена), броненосцы, муравьеды, ленивцы (с верхнего палеоцена).

В растительном мире консервативные формы наиболее распространены среди низших растений — бактерий и водорослей, многие из которых в неизменном виде существуют с докембрийской эпохи. В 1954 г. в Канаде, в породах кварца, были обнаружены синезеленые водоросли, возраст которых приблизительно равен 2 млрд. лет и которые мало отличаются от современных представителей этого типа. Однако факты устойчивости и большой консервативности широко известны и среди высших растений. Таковы, например, многие голосеменные растения — сосны, кедры, существующие в почти неизменном виде с мелового периода.

Отмечая эти хорошо известные факты, Дарвин писал о подобных организмах: «Раз они достигли данной степени развития, совсем нет необходимости, с точки зрения теории естественного отбора, чтобы они продолжали развиваться дальше, хотя они и должны в каждую следующую эпоху слегка изменяться, чтобы удерживать свои места при тех слабых изменениях, какие происходят в условиях их существования»¹¹.

¹¹ Ч. Д а р в и н. Сочинения, т. 3. М., 1939, стр. 556.

Эти легкие изменения достаточны для обеспечения не только существования, но и биологического процветания многих указанных стабильных форм, что является объективным свидетельством широкого значения одноплоскостной формы эволюции, т. е. такого эволюционного процесса, который идет без значительного повышения или понижения уровня организации, идет «как бы в одной плоскости» (Мечников). Только с установлением этой формы эволюции, отмечал А. Н. Северцов, мы смогли понять, почему очень многие группы весьма примитивных организмов не только благополучно дожили до наших дней, но и сейчас не обнаруживают никаких признаков вымирания¹².

В этой связи важно отметить, что наряду с подлинными «живыми ископаемыми» типа гаттерии, латимерии, секвойи, представленными ограниченным числом особей в небольших географических ареалах, имеются и такие группы устойчивых организмов, которые характеризуются огромным видовым разнообразием, многочисленностью особей и широтой ареала обитания. В этом отношении очень показательны упомянутые выше роды сосновых, насчитывающие около 100 видов, еловых и пихтовых растений, включающих примерно 50 видов. Роды же *Silaginella* и *Asplenium*, известные с палеозоя и распространенные по всему земному шару, насчитывают по 500—700 видов. Подобные консервативные, но процветающие и дающие большое видовое разнообразие, формы было бы, очевидно, целесообразно выделить в самостоятельный тип одноплоскостной эволюции, что требует, конечно, специального рассмотрения.

Наконец, третья группа фактов, противоречащих идее всеобщего прогресса живого, связана с существованием, наряду с высокоорганизованными, и очень примитивных форм. Гетерогенность, «мозаичность» современной флоры и фауны можно рассматривать в двух аспектах: во-первых, как сосуществование высших и низших форм одного типа организации и, во-вторых, как сосуществование организмов разной высоты организации, принадлежащих к разным типам животного и растительного мира.

В рамках каждого типа организации можно выделить более и менее высокоорганизованные формы. Так, в типе простейших, наряду с наиболее примитивно организованными

¹² См. А. Н. Северцов. Сочинения, т. V. М., 1949, стр. 242.

ными классами жгутиковых и корненожек, видную роль играют сравнительно высокоорганизованные инфузории. В типе губок кремневые губки превосходят по своей организации известковые губки, а гребневики из типа кишечнополостных сосуществуют с значительно менее организованным классом гидроидных. Появление высокоорганизованных головоногих моллюсков не привело к уничтожению остальных, несравненно менее организованных классов моллюсков, точно так же, как в типе членистоногих высшие и низшие ракообразные распространены в одном и том же ареале. Высшие костистые рыбы сосуществуют с менее организованными хрящевыми, а высшие плацентные млекопитающие с яйцекладущими.

Обращая внимание на сосуществование организмов разных типов организации, сложившихся в разные геологические эпохи, А. Н. Северцов писал: «Современная нам фауна — по общей высоте своей организации и по общим признакам характеризующих ее форм — состоит из форм, принадлежащих к самым разнообразным эпохам. Так, в любом морском бассейне с относительно богатой фауной одновременно встречаются представители самых разнообразных геологических эпох: костистые рыбы, крабы и омары, представители современной морфо-физиологической прогрессивной фауны, акулы — сравнительно очень мало изменившиеся представители силурийской фауны, плеченогие, кораллы, медузы и черви — поныне процветающие пережитки бесконечно отдаленной от нас докембрийской фауны; наконец, бесчисленные простейшие — живые реликты еще более отдаленного примордиального (протерозойного) периода жизни нашей планеты»¹³.

В растительном мире также имеются преимущественно сложные фитоценозы, в состав которых входят растения высшие и низшие, автотрофные и гетеротрофные. Одновидовые фитоценозы встречаются лишь в исключительных условиях (полярных, высокогорных) и образуются только низшими организмами — водорослями, лишайниками и т. д. Парадоксальный факт одновременного существования и биологического процветания органических форм разного уровня организации, отмечал А. Н. Северцов, может быть объяснен только признанием многонаправленного характера биологического развития¹⁴.

¹³ Там же, стр. 242—243.

¹⁴ Там же, стр. 243.

Подытоживая сказанное, мы приходим к выводу, что современные научные данные неоспоримо свидетельствуют о диалектически противоречивой направленности процесса органического развития. Наряду с прогрессом объективно существуют регрессивные и одноплоскостные тенденции органического развития с присущими им частными разновидностями.

Объективной основой отмеченного многообразия форм развития в органическом мире является качественная неоднородность экологических и перспективно-эволюционных последствий приспособительных морфо-физиологических изменений организмов. Фундаментальными исследованиями А. Н. Северцова, А. Л. Тахтаджяна, А. В. Благовещенского, Дж. Гексли, Б. Ренша и целого ряда других ученых с несомненностью установлено, что если одни морфо-физиологические приспособительные изменения приводят к расширению среды обитания, возрастанию относительной независимости организма от отдельных элементов среды, увеличению эволюционной пластичности, то другие приспособительные изменения ведут к иным, иногда прямо обратным результатам — значительному сокращению среды обитания, возрастанию зависимости эволюционирующего организма от отдельных элементов среды, падению эволюционной пластичности. Наконец, в широких размерах происходят и такие приспособительные изменения, которые закрепляют, консервируют присущую организму среду обитания и степень зависимости от условий среды и пластичности.

В этой связи прогрессивное развитие живой природы можно кратко определить как филогенетический процесс накопления таких морфо-физиологических механизмов, которые способствуют возрастанию относительной независимости организма от отдельных условий существования, расширяют среду его обитания и повышают уровень эволюционной пластичности.

Соответственно критерии остальных форм эволюции будут иметь тогда следующее содержание.

Одноплоскостное развитие основывается на таких морфо-физиологических изменениях, которые приводят к повышению приспособленности к более или менее постоянным условиям среды при сохранении возможностей к дальнейшему эволюционному развитию. В крайнем случае одноплоскостной эволюции — узкой специализа-

ции возможно сокращение среды обитания и уменьшение эволюционной пластичности.

Тем самым узкая специализация непосредственно смыкается с регрессивной эволюцией — «общей дегенерацией», для которой характерно именно резкое сокращение среды обитания, максимальная степень зависимости от отдельных элементов среды и минимальная эволюционная пластичность.

Возникает вопрос: какова же внутренняя взаимосвязь отмеченных форм органической эволюции?

В настоящее время можно считать несомненным исторически первичный характер прогрессивного развития по отношению к более узко приспособительному одноплоскостному и регрессивному развитию. Только в ходе прогрессивной эволюции появляются те существенные перестройки в морфо-физиологическом аппарате организма, которые позволяют ему «оторваться» от условий привычной среды и овладеть новыми условиями существования, новой средой обитания.

Так, выход животных на сушу был обусловлен появлением нового аппарата дыхания — трахейного и легочного, а освоение суши растительностью — появлением проводящих и механических тканей, эпидермиса, устьиц и ряда других важных механизмов у предков наземных растений — псилофитов. Приобретение предками птиц и млекопитающих сложных механизмов терморегуляции обеспечило их круглогодичное активное функционирование и позволило овладеть самыми различными климатическими зонами Земли. Развитая листовая система сделала покрытосеменные растения победителями в борьбе за существование, создав наиболее выгодные условия для усвоения солнечной энергии, рационального расходования воды и т. д.

Каждая подобная прогрессивная перестройка, поднимая организм на новую ступень и открывая перед ним новые, неизвестные предкам условия существования, с неизбежностью вызывала в ходе освоения новых условий усиленную дифференциацию прогрессирующей формы на местные географические и экологические, различающиеся образом жизни, формы. Например, возникновение проводящей системы, эпидермиса, устьиц и ряда других прогрессивных приспособлений у первых наземных растений — псилофитов привело не только к освое-

нию суши растительностью, но и к огромной дифференцировке растительных форм, применительно к частным условиям наземной среды. Прогрессивное усложнение зубного аппарата и кишечника, возникновение специфического строения кисти и стопы у предковых форм современных копытных животных не только способствовало распространению копытных в самых разнообразных условиях — степных, лесных, горных, тундровых, песчаных, болотных, но и обусловило тем самым большое разнообразие родовых и видовых форм этих животных.

В этом смысле представляется правомерным говорить об исторической вторичности одноплоскостной и регрессивной форм эволюции. Одноплоскостная эволюция связана с совершенствованием уже имеющегося основного морфо-физиологического аппарата организма; регрессивная эволюция, будучи связана с приспособлением организма к упрощенным и сравнительно стабильным условиям, всегда начинается также от какого-то уровня, достигнутого предыдущим прогрессивным развитием.

В обоих случаях исходный уровень организации «поставляется» прогрессивным развитием; оно осуществляет те решающие морфо-физиологические перестройки, которые дают начало новым отрядам (порядкам), классам и типам, открывая, следовательно, дорогу дальнейшей узко приспособительной деятельности одноплоскостной и регрессивной форм эволюции.

В настоящее время наличие первичного прогрессивного процесса установлено у большинства типов беспозвоночных животных, ныне одноплоскостно или регрессивно эволюционирующих — губок, кишечнотелостных, плоских, круглых и кольчатых червей, иглокожих, моллюсков и т. д. Первичный прогресс обусловил большую высоту организации многих групп ракообразных, насекомых, паукообразных, в настоящее время также развивающихся в рамках одноплоскостной или регрессивной эволюции. «Адаптивная радиация» млекопитающих, позволившая им освоить наземную, водную и отчасти даже воздушную среду вне зависимости от климатических, почвенных и прочих условий, также имеет своим основанием ряд прогрессивных процессов: появление живородности, теплокровности, шерстного покрова, пятипалой лапы, подвижной челюсти и особенно — высокого уровня центральной нервной системы.

Первичный прогрессивный процесс с несомненностью установлен также у всех регрессирующих организмов — погонофор, оболочников, усонгих раков и т. д. Предковые формы, например асцидий, были свободно живущими животными, с довольно высоким уровнем развития: они обладали хорошо развитой центральной нервной системой, хордой, глазом с хрусталиком, органом слуха, развитыми органами движения. У современных взрослых асцидий, перешедших к сидячему образу жизни, нервная система редуцировалась до небольшого ганглия, органы же чувств, движения и хорда атрофировались полностью. Аналогичен процесс при переходе к паразитизму. Так, «паразитное растение утрачивает самый существенный из своих органов — лист; заменяет сложно организованный корень присосками; во всей своей организации, даже во внешнем облике, начинает напоминать гриб»¹⁵.

Таким образом, мы можем сделать еще один важный вывод: прогрессивное развитие — не просто одна из форм органической эволюции. Оно является базисом всякого иного развития, его фундаментом, открывающим возможность для дальнейшего как одноплоскостного, так и регрессивного развития. В этой связи находит свое объяснение поражавшее многих исследователей численное преобладание одноплоскостных и регрессивных филогенетических линий развития в истории живого, поскольку каждая прогрессивная перестройка организма открывает много конкретных приспособительных возможностей.

Прогрессивная эволюция выступает, таким образом, как первичная базисная форма органического развития. Являясь объективной основой, базисом действия всех остальных форм эволюции, прогрессивное развитие тем самым обуславливает неразрывную связь всех форм эволюции и ее общую прогрессивную направленность. Диалектическое развитие живой природы выступает в связи с этим как единый эволюционный процесс, определяющей тенденцией которого является прогрессивное развитие.

Однако соотношение прогресса и регресса в живой природе было бы неправильно изображать только как диалектику сосуществующих прогрессивных и регрессивных тенденций развития, взятых в их «чистом» виде.

¹⁵ К. А. Тимирязев. Сочинения, т. VI. М., 1939, стр. 127.

Прогрессивные и регрессивные явления противоборствуют друг с другом и в рамках собственно прогрессивного или регрессивного развития. Иными словами, прогресс в одном отношении всегда является регрессом в другом отношении. В этой связи А. Н. Северцов сформулировал принцип «совместного действия прогрессивных и регрессивных изменений». Так, высокосовершенные приспособления к бегу у предков современных копытных животных закрыли возможность развития хватательных способностей пальцев. Приобретение трахейного дыхательного аппарата насекомыми ограничило возможные размеры их тела и тем самым предопределило уход с «генеральной магистрали» прогрессивного развития жизни. «...каждый прогресс в органическом развитии,— писал Ф. Энгельс,— является вместе с тем и регрессом, ибо он закрепляет *одностороннее* развитие и исключает возможность развития во многих других направлениях»¹⁶.

Таким образом, диалектика прогресса и регресса в органической эволюции проявляется в двух своеобразных аспектах: как противоречивая взаимосвязь прогрессивных и регрессивных направлений развития и как единство прогрессивных и регрессивных изменений в рамках каждого из этих направлений. В обоих случаях диалектика прогресса и регресса выступает как одна из конкретных модификаций закона единства и борьбы противоположностей.

¹⁶ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 621.

ПРОТИВОРЕЧИЯ МЕЖДУ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ И ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ — ДВИЖУЩАЯ СИЛА ЭВОЛЮЦИИ

С. С. ШВАРЦ

Изучение приспособлений различных форм жизни к условиям внешней среды издавна служит важнейшим путем познания механизмов эволюционного процесса.

В настоящее время биология многих видов изучена очень полно, и это дает возможность показать, сколь глубокими и тонкими приспособительными особенностями обладают окружающие нас животные и растения. Эти приспособления не ограничиваются внешними морфологическими признаками (школьный пример: редукция пальцев у быстро бегающих особей), а охватывают буквально все признаки организма, от психологических до биохимических и биофизических.

Оказалось, например, что в зависимости от топографии местности, определяющей структуру животного поселения, разновидности одного и того же вида обладают наследственно закрепленными различиями в отношениях между самцами и самками, между молодыми и взрослыми животными. Эти различия определяют способность вида наилучшим образом использовать жизненные ресурсы отдельных территорий в разных условиях среды. Естественно, что такие различия ускользали из поля зрения исследователей вплоть до последнего времени, когда была разработана методика моделирования экологических явлений в лабораторных условиях.

Другой пример иллюстрирует не менее существенную сторону интересующего нас вопроса. В последние годы

своеобразной зоологической знаменитостью сделалась вьетнамская крабоядная лягушка, внешне очень сходная с весьма обычным видом — лягушкой тигровой. Амфибии — типично пресноводные животные. Ни один вид амфибий не способен существовать в воде повышенной солености. Один процент — вот предел солености, который выдерживают даже самые стойкие виды. Крабоядная же лягушка превосходно развивается в морских лиманах, в которых соленость воды превышает три процента! Экологическое значение этой особенности крабоядной лягушки понятно — она приобрела способность осваивать водоемы, недоступные для других видов, вышла из-под влияния своих ближайших конкурентов, освоила новую сферу жизни, преодолела один из основных экологических барьеров — осмотический.

Биохимические особенности крабоядной лягушки оказались связанными с совершенно уникальной для амфибий способностью активно регулировать водно-солевой обмен в тканях и полостных жидкостях. В эволюционном плане приведенный пример действительно оправдывает популярность, которую приобрел этот вид лягушек среди зоологов. Он показывает, что приспособление к своеобразным условиям среды может привести к возникновению у отдельных видов таких свойств, которые ставят их в уникальное положение не только по отношению к филогенетически близким видам, но и по отношению к целому классу.

Примеры подобного рода (с каждым годом их становится все больше) свидетельствуют об очень глубокой приспособленности животных к окружающей среде; однако у этого процесса есть и другая сторона — ограниченность любого приспособления.

Ни одно приспособление не может быть абсолютным. Это положение кажется в настоящее время аксиомой. Но более глубокий анализ позволяет вскрыть некоторые частные закономерности, аксиоматичность которых уже менее очевидна.

Любой современный вид животных или растений прошел сложный и длительный путь развития, движущая сила которого — приспособление к изменяющимся условиям среды или совершенствование приспособлений в относительно стабильных условиях. Многообразие этих приспособлений неисчерпаемо. Тем не менее, даже прак-

тически бесконечное число приспособительных особенностей не может создать абсолютной приспособленности вида к среде обитания. Это вытекает из изменчивости самой среды.

Одни экологические факторы изменяются в количественном выражении в десятки раз — температура, соленость; другие в тысячи и даже миллионы раз — освещенность. В подобной ситуации абсолютной приспособленности нет и быть не может. Природа нашла выход из создавшегося положения: постоянство внутренней среды, означающее относительную автоматизацию процессов развития от колебаний внешних условий, и совершенствование физиологических и морфо-генетических реакций. По первому пути — пути наибольшего морфо-физиологического прогресса — развиваются относительно немногие виды (их едва ли более пяти процентов от всех видов животных), второй путь универсален.

Любая особь получает в наследство от своего вида не какую-то сумму признаков, а определенную норму реакции, тип онтогенеза, допускающий известную свободу в реализации наследственных потенций, в соответствии с конкретными условиями внешней среды. Конкретное выражение этой «свободы» у разных видов и в разных группах различно, но ее биологическая сущность одна — корректировать определенную филогенезом схему развития. На первых этапах онтогенеза эта корректировка осуществляется преимущественно в форме морфо-генетических реакций, на последующих — физиологических.

Примеры, иллюстрирующие это положение, хорошо известны. Важно, однако, подчеркнуть, что у разных видов реакция на совершенно идентичные условия среды может быть принципиально различной, а в пределах вида — во многом определяется физиологическим состоянием отдельных животных. В целом эти реакции целесообразны. Они — результат филогенетического развития вида и соответствуют его биологическим, в частности, физиологическим особенностям. Однако целесообразность эта не абсолютна.

В большинстве случаев осуществление закрепленной в процессе филогенеза реакции полезно для вида, позволяет поддерживать его численность на оптимальном в данных конкретных условиях уровне в течение длительного времени. Но даже весьма целесообразные реакции

в определенных условиях могут оказаться и вредными. Воспользуемся для иллюстрации грубым примером, который хорошо пояснит суть проблемы.

Многие виды птиц начинают размножаться с установлением теплой погоды. Если же вслед за теплом вновь наступают холода, то яйца и неокрепшие птенцы многих видов гибнут. У растений это явление также хорошо известно и имеет характерное название — «провокация развития».

В данном случае филогенетически закрепленная реакция организма на изменение условий среды оказывается вредной. Однако до тех пор, пока ошибки, подобные «весенней провокации», существенно не влияют на реализацию биологического потенциала вида, реакция сохраняется. Изменение условий существования (в том числе и внешне совершенно не связанное с реакцией на изменение условий среды), снижающее воспроизводство вида (например, появление нового врага), неизбежно приводит к совершенствованию (изменению) рассматриваемой реакции. Если часть особей гибнет при возврате холодов и это угрожает воспроизводству вида, реакция на изменение температуры среды делается более четкой и совершенной. У одних видов развитие наступает лишь тогда, когда сумма положительных температур достигает определенной величины, у других — повышение температуры стимулирует развитие лишь на фоне длинного светового дня (поздняя весна) и т. п. Важно, однако, что совершенствуется все та же реакция — начало размножения (или развития) стимулируется повышением температуры среды. Реакция не изменяется, а лишь совершенствуется. Но достижение абсолютного совершенства теоретически невозможно, так как закрепленная филогенезом реакция организма при любых условиях соответствует лишь «средним многолетним», отклонения от которых не только возможны, но и необходимы. Поэтому в каждом конкретном случае развитие отдельных животных находится в определенном противоречии с закрепленной в процессе филогенеза нормой, которая наилучшим образом соответствует лишь «средним» условиям жизни вида; индивидуальное развитие так или иначе отклоняется от нормы. Как мы попытаемся показать ниже, это приводит к закреплению в популяциях генетически различных животных (генетическая разнородность популяции).

В философском плане описанную закономерность можно рассматривать как интереснейшее проявление очень важного положения В. И. Ленина о соотношении явления и закона. «Закон берет спокойное — и потому закон, всякий закон, узок, неполон, приближителен... Явление богаче закона»¹. Филогенез вида определяет закон его развития, но конкретные формы проявления этого закона шире и лишь приблизительно ему соответствуют. Разбираемое нами явление представляет интерес и в философском и в биологическом плане. Ясное понимание противоречивости конкретной реализации филогенетически закрепленной реакции помогает глубже вскрыть конкретные механизмы, управляющие развитием органического мира.

В примерах, приведенных выше, филогенетически закрепленная реакция целесообразна, но целесообразность эта относительна, ограничена. Размножение целесообразно начинать с установлением тепла (весной), это соответствует биологическим особенностям большинства видов (в умеренных и приполярных климатических зонах); ограничение целесообразности данной реакции проявляется в двух аспектах. Во-первых, потепление возможно временное, которое не является еще победой весны. Тогда возникает ситуация, описанная выше. Во-вторых, дальнейший ход температурных или иных условий не может точно соответствовать филогенетически обусловленным требованиям вида; развитие никогда не происходит в условиях абсолютного оптимума и благополучно завершается лишь благодаря многочисленным компенсаторным реакциям. При всем этом основа реакции остается целесообразной. Возможны, однако, случаи, когда в результате естественного отбора сомнительным становится биологическое значение самой основы реакции. Разберем один из подобных случаев.

Скорость развития амфибий, как правило, почти не знающее исключений, прямо пропорциональна температуре среды (в пределах нормально встречающихся в ареале вида температур). Это вытекает из химических основ метаболизма и в большинстве случаев биологически целесообразно: при высокой температуре (жаркое лето) водоемы, где лягушки откладывают икру, быстро

¹ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 136—137.

высыхают и единственный путь спасения — окончание метаморфоза и выход на сушу. Поэтому не удивительно, что в засушливых районах процесс развития ускоряется даже быстрее, чем требуют химические закономерности, отраженные в известных правилах Вант-Гоффа — Аррениуса. Этим подчеркивается, что скорость развития отражает не простые химические закономерности, а закрепленные в процессе филогенеза реакции организма на изменение условий среды.

В холодном климате метаморфоз задерживается, амфибии зимуют на стадии личинок, однолетний цикл развития превращается в двухлетний. Так как интенсивность метаболизма холоднокровных животных с понижением температуры среды снижается, то это явление легко объяснимо не только с физико-химической точки зрения: оно соответствует и общим биологическим особенностям рассматриваемой группы животных.

Иная картина на Крайнем Севере и высоко в горах. В этих районах с исключительно низкими температурами почва и водоемы промерзают, и возможность зимовки амфибий на стадии личинок исключена (они могут зимовать только в воде). Здесь задержка метаморфоза означает гибель популяции. Действительно, большинство амфибий не продвигается на север дальше таежной зоны. Лишь некоторые (очень немногие) виды проникают в тундру и образуют здесь стабильные популяции. Несмотря на то, что их развитие происходит в условиях очень низких температур, оно завершается в более короткие сроки, чем у их ближайших родственников на юге. Примечательно, что это явление было обнаружено почти одновременно и у высокогорных видов и у амфибий Крайнего Севера.

Какое значение имеют приведенные здесь наблюдения для анализа обсуждаемых в статье общих вопросов?

Приобретение северными популяциями амфибий принципиально новых биологических особенностей — это явный филогенетический сдвиг. Как он произошел, вернее мог произойти? При продвижении амфибий на север филогенетически закрепленная реакция, основанная к тому же на элементарных химических законах, вступила в резкое противоречие с условиями развития. В данном случае реакция отдельных особей и реакция популяции в целом (филогенетическая реакция) оказа-

лись противоположно направленными. Продвижение амфибий в тундру или высокогорье стало возможным лишь в результате отбора особей с нечетко выраженной реакцией на снижение температуры среды (с какими конкретными физиологическими особенностями животных это оказалось связанным, в данном случае не существенно). Можно полагать, что в отдельные годы с необычно теплым летом (такие годы не так уж редки даже на Крайнем Севере) особи с нечетко выраженной реакцией могли благополучно закончить метаморфоз, оставить потомство и образовать популяции, характеризующиеся новыми свойствами. Это предположение подтверждается следующим: и в настоящее время многие виды амфибий на северном пределе своего ареала размножаются не каждый год.

Северные (но еще не полярные!) форпосты амфибий, вероятно, существовали довольно долго на границе доступной для этого класса сферы жизни; но до тех пор, пока характер индивидуальных реакций на изменение температуры среды оставался неизменным, ни один вид амфибий не мог проникнуть за пределы той области, где даже в благоприятные годы теплый период года короче нормального периода метаморфоза. Однако на географическом пределе распространения амфибий постепенно происходили важные преобразования популяций. Отбор «работал» в пользу особей, быстро завершающих метаморфоз, несмотря на низкую температуру среды.

В сложившихся условиях данный признак оказался ведущим, определяющим жизнеспособность отдельных особей, все остальные особенности животных отступили на второй план. Это способствовало накоплению мутаций, ускоряющих развитие, и появлению особей с инверсионной реакцией. Подобные особи представляли особую ценность, их появление создало возможность продвижения амфибий в тундру. Такое предположение полностью подтверждается фактами. В случаях, когда оказалась возможной проверка, тундровые или высокогорные популяции амфибий не только отличались большой скоростью развития (несмотря на низкую температуру среды), но и своеобразной реакцией на изменение температуры. Так завершилось приспособление к новым, совершенно необычным для амфибий условиям среды, в которых отдельные виды достигают высокой численности.

Этот пример дает основание для важных теоретических обобщений. Биологическая сущность описанного явления не сводится к тому, что в результате отбора популяции отдельных видов приобрели новые свойства. Она заключается в том, что новое свойство приобретено в процессе разрешения противоречия между закономерностями индивидуального и филогенетического развития, которое в данной конкретной ситуации приобрело антагонистический характер.

Здесь следует сделать одно замечание, которое имеет принципиальное значение. Обычно когда говорят о филогенезе, подразумевают крупные эволюционные сдвиги, происходившие в течение длительного (даже в геологическом масштабе времени) периода. Движущие силы филогенеза изучают на основе исследования его результатов. При этом часто забывают о том, что филогенез — это непрерывный процесс, осуществляющийся в непрерывном потоке онтогенезов. Длительное сохранение морфо-физиологического постоянства отдельных форм (даже если это постоянство не мнимое) не есть прекращение филогенеза; оно активно поддерживается теми же силами эволюционного процесса, которые в других условиях приводят к морфо-физиологическим преобразованиям.

В непрерывном потоке онтогенезов и совершаются те превращения, которые мы называем филогенетическими. Чем точнее методы исследования, тем меньше тот минимальный отрезок времени, в течение которого можно эти превращения обнаружить. Принципиальное значение имеют хорошо обоснованные современной экологией представления, согласно которым начальные этапы любого филогенетического преобразования находятся на уровне популяций. Начальный этап филогенетического преобразования — это возникновение необратимых отличий между популяциями одного вида. Встав на эту, по нашему убеждению — единственно правильную точку зрения, нетрудно подойти и к общему анализу противоречий между индивидуальным и историческим развитием животных, так как возникновение указанных межпопуляционных отличий — это историческое развитие вида в прямом и полном смысле слова. Оно не означает, что любые различия между популяциями ведут к преобразованиям исторического масштаба, но это значит, что

любые филогенетические преобразования начинаются с возникновения межпопуляционных отличий.

Вернемся теперь к столь подробно разобранным нами примерам. Проникновение амфибий в тундру, во многих районах совершающееся буквально на наших глазах, — есть результат преобразования исходных популяций. Сущность этих преобразований заключается в ускорении процесса развития в условиях резкого понижения температуры среды. Схема индивидуального развития, закон, на основе которого оно происходит, изменяются. Естественный отбор снимает противоречие между индивидуальным и историческим развитием. Можно предположить, что это происходило в два этапа. На первом — совершался отбор особей с нечеткой реакцией на изменение температуры, на втором — отбор особей с инверсионной реакцией, которая в сложившихся условиях оказалась исключительно полезной.

Приведенные примеры показывают, что противоречия между индивидуальным и филогенетическим развитием организмов проявляются в разных формах. Наиболее распространенная форма иллюстрируется нашими первыми примерами: обусловленный предшествующим развитием вида ход онтогенеза вступает в противоречие с конкретными условиями среды; но противоречие это не антагонистическое (требования вида и условия среды не противоречат друг другу, а соответствуют не полностью), оно снимается также выработанными в процессе филогенеза компенсаторными реакциями. Такая форма противоречий универсальна, ее можно обнаружить не только у любого вида или популяции, но и в развитии любой особи. Это положение имеет важное значение для понимания процесса эволюции. Именно вследствие противоречивости индивидуального развития в популяции поддерживается разнородность даже по этому, наиболее сложному и комплексному физиологическому признаку (онтогенетическая реакция на изменение условий среды). Разнородность одновременно является и причиной, и следствием противоречивости индивидуального развития, и предпосылкой для филогенетических преобразований в процессе приспособления популяций к разным условиям среды.

Другой тип противоречий, о котором мы говорили, можно назвать антагонистическим, так как никакие ком-

пенсаторные реакции не в состоянии обеспечить нормальное развитие животного, если требования вида в корне противоречат условиям среды (естественно, что между этими крайними случаями возможны любые промежуточные ситуации). При этой форме противоречий отбор коренным образом перестраивает характер индивидуальной реакции организма, изменяется закон, по которому осуществляется онтогенез. Так в действительности и происходит. Однако скорость филогенеза в этих двух предельных ситуациях должна быть различной.

В тех случаях, когда направление индивидуальной реакции в общем соответствует условиям существования животных, отбор поддерживает разнородность популяции; она стабилизируется на уровне нормального развития такого количества особей, которое необходимо для сохранения численности вида при любых отклонениях условий среды от средних норм. Скорость реакции популяций в целом на изменение условий среды определяется тем, что отбор не создает ничего нового, а лишь изменяет численное соотношение генотипов в популяции.

С другой стороны, новейшие исследования по физиологии развития² показывают, что сложные физиологические признаки никогда (по крайней мере у высших животных) не бывают детерминированными моногенно. Изменение таких признаков организма, как характер онтогенетической реакции, всегда определяется комплексом генов и еще большим числом генов-модификаторов, т. е. изменением генома в целом. Это создает предпосылки для быстрых преобразований популяций и более существенного масштаба, чем изменение средней нормы изменчивости.

Хорошо известный в генетике принцип аддитивного действия генов способствует относительно быстрому изменению диапазона изменчивости в любом направлении от средней на основе использования уже имеющегося в популяции генофонда.

Другими словами, направленный отбор влияет не только на среднюю норму изменчивости, но и создает направленные изменения. Эта точка зрения нашла

² См. И. И. Шмальгаузен. Регуляция формообразования в индивидуальном развитии. М., 1964; N. Y. Berill. Growth, development and patten. San-Francisco, London, 1961.

экспериментальное подтверждение в исследовании, недавно проведенном в нашей лаборатории. Было показано, что даже в модельной популяции (обедненный генофонд) путем отбора в течение нескольких поколений можно заполнить морфологический разрыв (хиатус) между двумя резко дифференцированными формами³.

Таким образом, можно сделать вывод, что в случаях, когда противоречия между филогенетически обусловленными требованиями вида и реальными условиями развития отдельных популяций и особей не являются антагонистическими, путем отбора поддерживается разнообразность популяции, а это создает предпосылки для быстрых филогенетических преобразований, соответствующих общему направлению филогенеза. Здесь проявляется своеобразная филогенетическая инерция, которая неоднократно отмечалась исследователями при работе с самыми различными группами животных и растений. В нашем понимании «филогенетическая инерция» не связана ни с какими идеалистическими понятиями, вроде «жизненной силы»; она помогает дать материалистическое объяснение некоторым хорошо известным, но до сих пор не ясно понятым фактам. Один из них: эволюция конечных звеньев отдельных филогенетических линий происходит быстрее начальных (поэтому эволюция млекопитающих в целом в неогене более быстрая, чем в палеогене).

Следует подчеркнуть, что первопричина этого явления, казалось бы целиком относящегося к области макроэволюции, — противоречивость индивидуального развития (противоречия между филогенетически обусловленными требованиями вида и условиями онтогенеза), ведущая к накоплению в популяции генетической разнообразности, характер которой в общем совпадает с направлением предшествующего филогенетического развития.

Иная ситуация складывается тогда, когда обусловленная филогенезом схема индивидуального развития вступает в антагонистическое противоречие с условиями существования животного. В подобных случаях использование имеющегося генофонда популяции не дает эф-

³ См. С. С. Шварц, А. В. Покровский. Опыт сближения специфической подвидовой окраски двух резко дифференцированных подвидов путем отбора в модельной популяции. В сб. «Вопросы внутривидовой изменчивости». Свердловск, 1964.

фекта. Максимум, что может сделать отбор — это сгладить наметившиеся противоречия.

Воспользуемся еще раз нашим примером с северными амфибиями. Особи с наиболее четкой реакцией на понижение температуры среды будут отмечены отбором в первую очередь, так как они ни при каких условиях не смогут закончить метаморфоз. Сразу же изменится характер подбора пар в популяции, новая популяция не будет уже столь резко реагировать на снижение температуры и где-то на границе «критической области» это сохранит ее численность на каком-то минимальном уровне (современная зоология знает очень много подобных примеров). Данная стадия в развитии любого вида имеет исключительно важное значение: вид существует в специфических условиях направленности отбора. На северной границе распространения амфибий могут накапливаться мутации, изменяющие характерную норму реакции на изменение температуры среды. Животные, которые уже не реагируют на изменение температуры среды удлинением метаморфоза, имеют возможность продвинуться еще дальше на север, сформировать популяцию в новой среде обитания: они преодолели еще один барьер на пути своего филогенетического развития — термический.

Естественно, что этот процесс более длительный и сложный, чем совершенствование приспособлений в освоенной среде обитания. Когда же он завершен, антагонистические противоречия между требованиями вида и условиями среды преодолены, открывается обширное поле для адаптивной радиации нового типа, нового направления. Но исследователь сможет изучить этот процесс лишь после того, как он завершится и новая форма популяции станет фактом. Ведь палеонтология фиксирует лишь многочисленные виды и группы животных. Палеонтолог далекого будущего заключил бы, что в современном нам геологическом периоде амфибии в морских лиманах отсутствовали (крабоядная лягушка не была бы обнаружена), что не было их и в лесотундре, и в южной тундре (лягушки здесь настолько малочисленны, что их не замечают даже и в настоящее время зоологические экспедиции). Биолог же должен уметь не только фиксировать и объяснять прошлый путь развития отдельных видов и групп животных, но и предвидеть воз-

можные направления их будущего развития. Для этого необходимы методы исследования, основанные на общей теоретической концепции. Такая концепция может быть разработана на основе анализа характера противоречий между обусловленной предшествующим филогенезом нормой реакции и конкретными условиями среды, между филогенетическими требованиями вида и условиями их реализации.

При этом можно ожидать три типичные случая. Первый из них — относительно редкий — это когда закономерные изменения (колебания) условий среды полностью уравниваются генетической разнородностью популяций. В отдельные периоды жизни популяции преобладает одна группа животных, относительно более многочисленная. Если условия изменяются, ведущей становится другая группа особей (или группы), генетический состав популяции сдвигается, но через определенный промежуток времени возвращается к исходному состоянию и т. д. Эту точку зрения в настоящее время можно считать вполне доказанной; она находит подтверждение во многих работах, которые показывают, что колебания «качества» популяции — явление почти столь же обычное, как и колебание численности⁴.

В большинстве случаев путем отбора поддерживается установившаяся норма генетической разнородности популяции. При изменении направления отбора эта норма изменяется. Внешне популяция кажется неизменной, но эта неизменность динамическая, и для того, чтобы ее обнаружить, потребовался значительный прогресс техники экологического и морфо-физиологического исследования.

Не менее важно и другое обстоятельство. Динамическое равновесие морфо-физиологических особенностей популяции в корне отличается от «неизменности» (предельный случай, в природе не встречающийся) тем, что популяция все время находится в состоянии мобилизационной готовности и на направленное изменение условий среды (в отличие от только что упоминавшихся колебаний) она всегда может ответить направленным изменением своей генетической структуры. Это подтверж-

⁴ См. С. С. Шварц. Внутривидовая изменчивость млекопитающих и методы ее изучения. Зоол. журн., 1963, т. 52, вып. 3.

дают не очень многочисленные опыты по акклиматизации древних реликтовых форм в новых условиях среды. Обитающая в степных борах белка-телеутка, вероятно, одна из древнейших форм белок, обладающая специфическими морфологическими и физиологическими особенностями. Однако в новых условиях она буквально в течение нескольких лет резко изменилась. Существование в своеобразных и относительно стабильных условиях среды в течение многих тысячелетий не лишило белку-телеутку способности к быстрой изменчивости. Причина этого заключается в динамичности морфо-физиологических свойств отдельных форм, а эти свойства в свою очередь есть следствие противоречивого характера взаимоотношения популяции в целом со средой обитания.

Второй случай, когда при направленном изменении условий среды (обычно это происходит при расселении вида) происходит быстрая перестройка генетической структуры популяции и, соответственно с этим, быстрые (в палеонтологических масштабах времени) филогенетические преобразования. Популяция в этом случае оказывается «преадаптированной» к дальнейшим целесообразным изменениям. Помимо причин, изложенных выше, это, вероятно, в немалой степени определяется известными генетическими механизмами, ускоряющими процесс формообразования при совпадении направления отбора и непосредственного действия среды на организм⁵.

В третьем случае характер онтогенеза находится с направлением филогенетического развития популяций в текущий момент истории вида в антагонистическом противоречии. При этом эволюционные преобразования происходят крайне медленно и лишь при особо благоприятных обстоятельствах (стоит задуматься над тем, что из большого числа классов животных лишь очень немногие сумели преодолеть гравитационный барьер и приобрели способность к полету). Однако любой эволюционный сдвиг в этом направлении означает новый путь развития, предшествующий проявлению нового типа адаптивной радиации, нового типа освоения арены жизни.

⁵ C. H. Waddington. Evolutionary Systems, animal and human. Proc. Inst. Gr. Brit., 1959, v. 37, N 5.

РОЛЬ ПОЗНАНИЯ ПРОТИВОРЕЧИЙ ПРИРОДЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ДИАЛЕКТИКИ КАК НАУКИ

М. Н. РУТКЕВИЧ

В предшествующих статьях были рассмотрены некоторые, весьма различные по сфере своего действия и по характеру противоречия в процессах природы. Поскольку данная книга не претендует на полный охват этих противоречий, внимание авторов было обращено главным образом на сравнительно мало разработанные в нашей литературе аспекты проблемы. Но и при этом ограничении содержание сборника дает основания для того, что бы рассмотреть два вопроса более общего характера, касающиеся путей развития диалектики как науки, на основе прогрессирующего познания природы и ее противоречий.

Первый из них таков: *какова роль познания объективных противоречий для создания и развития диалектико-материалистической, философской картины природы?*

Предпосылкой для постановки такого вопроса является наше убеждение в том, что диалектическому материализму присуща мировоззренческая функция.

Как наука о наиболее общих законах бытия и познания диалектический материализм есть *научно-философское мировоззрение коммунистов*, самых передовых людей нашего времени. Эта — научная система взглядов на мир, определяющая мировоззрение в более широком смысле этого слова.

Но в нашей философской литературе еще распространено представление, будто диалектический материализм является только методом и теорией познания.

С этой точки зрения за диалектическим материализмом функция мировоззрения признается лишь в той мере, в какой он дает решение вопроса об отношении нашего мышления к окружающему миру. Что же касается создания на этой материалистической основе *диалектической картины мира*, каков он сам по себе, то это якобы уже не есть вообще задача научной философии, и диалектический материализм заниматься этим не должен. Приведем лишь одно высказывание подобного рода: «Необходимость в научной картине природы не отпала, но последняя создается самим естествознанием...», а диалектический материализм «не является системой знаний о мире в целом...»¹

Можно ли с позиций отрицания роли философии в создании научной картины мира говорить о диалектическом материализме как мировоззрении? Конечно, нет. Мировоззрение (если оно *научное*, а не религиозное или стихийное) есть *определенная система взглядов на мир*, а следовательно, и определенная картина мира. В основе научного мировоззрения может лежать только материализм, утверждающий объективное существование природы. Но на этой *незыблемой* основе мир должен быть осмыслен как система общих связей, общих законов. А это уже есть задача диалектики, которая неоднократно определялась Энгельсом как наука о связях, о развитии, а точнее о наиболее общих видах связей и о наиболее общих законах развития. Категории и законы марксистской диалектики суть не что иное как отображение в нашей голове наиболее общих связей и законов реального мира.

Весьма парадоксален тот факт, что авторы, подвергающие сомнению мировоззренческую роль диалектики, ищут опоры для своих взглядов у Энгельса, по-своему толкуя известные высказывания Энгельса в «Людвиге Фейербахе», направленные против домарксовской натурфилософии. Заметим, что отнюдь не менее резко высказывается там же Энгельс и против старой философии истории. И той и другой «приходит конец». Но чему должен прийти конец? Старая натурфилософия «заменяла

¹ П. В. Копнин. Развитие категорий диалектического материализма — важнейшее условие укрепления союза философии и естествознания. В кн.: «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». «Наукова думка», Киев, 1965, стр. 6—7.

неизвестные еще ей действительные связи явлений идеальными, фантастическими связями и замещала недостающие факты вымыслами, пополняя действительные пробелы лишь в воображении»². Таков же был порок и старой философии истории. «Теперь задача в той и в другой области заключается не в том, чтобы придумывать связи из головы, а в том, чтобы открывать их в самих фактах»³.

Следовательно, научная философия должна *обобщать* данные конкретных наук, а не *выдумывать* связи в природе, не фантазировать и т. д. Здесь же Энгельс пишет, что «с помощью фактов, доставленных самим эмпирическим естествознанием, можно в довольно систематической форме дать общую картину природы, как связанного целого»⁴. Равным образом, марксистская философия не отказывается от создания общей картины человеческого общества, которая дается историческим материализмом.

Кто же должен дать эту «общую картину природы»? Каково соотношение философии и естествознания в решении задачи? Может быть это есть дело *только* естествознания, а философии достаточно убедить естествоиспытателей в реальности мира? Весь ход рассуждений Энгельса в упомянутых трудах сводится к следующему. Каждая из естественных наук изучает лишь отдельную область природы. Следовательно, задача обобщения остается за научной философией, и Энгельс, особенно в «Диалектике природы», создает указанную «общую картину природы» на основе данных естествознания XIX в. Это было достигнуто Энгельсом путем *философского обобщения данных естествознания*.

В принципе с тех пор положение не изменилось. Задача философского обобщения достижений естествознания начала XX в. стояла перед В. И. Лениным и была им успешно решена. Современная марксистская философия коллективно решает эту же самую задачу, но теперь уже на основе достижений науки за две трети XX в.

Мы здесь должны особо подчеркнуть, что в деле создания общей картины природы нельзя обойтись без диа-

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 21, стр. 304.

³ Там же, стр. 316.

⁴ Там же, стр. 304.

лектики и поэтому нелепо *противопоставлять диалектику как метод познания — диалектике как мировоззрению*. Обе эти функции диалектики неразрывно связаны, и связь эта имеет глубочайшую основу в единстве *объективной и субъективной диалектики*. «Так называемая *объективная* диалектика, — писал Ф. Энгельс, — царит во всей природе, а так называемая *субъективная* диалектика, диалектическое мышление, есть только отражение господствующего во всей природе движения путем противоположностей, которые и обуславливают жизнь природы своей постоянной борьбой и своим конечным переходом друг в друга, *гесп.* в более высокие формы»⁵.

Законы диалектики, и прежде всего закон единства и борьбы противоположностей, являются общими законами объективного мира и познающего разума. Но в рамках единства объективной и субъективной диалектики, та и другая обладает известной спецификой и относительной самостоятельностью. Последняя вытекает из того простого факта, что наше мышление отображает мир на каждой стадии развития науки неполно и неточно. Уже поэтому картина объективных противоречий, рисуемая наукой, не полностью адекватна реальному их сплетению. Так, противоречия в мире элементарных частиц не изменились за полстолетия, но картина этих противоречий, даваемая физикой, изменяется весьма радикально и быстро.

И далее: мышление обладает относительной самостоятельностью не только по *содержанию*, но и по *форме*. Законы мышления, будучи слепком основных объективных отношений мира вещей, обладают известной спецификой. Так, противоречия в суждении, изучаемые диалектической логикой, имеют свои особенности сравнительно с противоречиями объективного мира: сочетание общего и отдельного в суждении достигается иным образом, чем в предмете, где общее и отдельное пребывают в нерасчлененном виде.

Этот поистине диалектический характер самой диалектики как науки одновременно об объекте и о субъекте познания проявляется и в ее значении для других наук, т. е. в ее роли как метода познания. Естествознание (и общественные науки также) нуждается в диалектике как методе познания в двойном отношении. С одной сто-

⁵ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 526.

роны, диалектика позволяет увидеть в законах движения данной области природы наиболее общие законы природы, общества и мышления; в фактах данной науки — составную часть непрерывно изменяющейся от эпохи к эпохе картины мира, создаваемой совокупными усилиями всех наук и обобщаемой философией. Так, Энгельс увидел в периодическом законе Менделеева проявление более общего закона — закона диалектики о переходе количества в качество, а Ленин усмотрел в открытиях физики начала XX в. идею о неисчерпаемости электрона, которую физики того времени не выдвигали.

И в наше время диалектика выполняет свою роль метода развития наук прежде всего в том отношении, что позволяет видеть в частном — общее; в развитии «своей» области науки — общий прогресс научного знания; в картине, «куске», фрагменте природы — элементы всей картины мира, которая непрерывно создается коллективными усилиями человеческого разума.

С другой стороны, диалектика как общая теория бытия и развития реального мира выступает одновременно в качестве теории познания и логики. Диалектика дает научное, верное понимание отношений нашего мышления к природе, хода процесса развития познания, законов абстрактного мышления. Логико-гносеологический аспект диалектического метода в настоящее время приковывает все большее внимание исследователей. У нас выходит в свет много статей и книг, специально посвященных этой проблеме. И это очень хорошо. Но плохо то, что далеко не всегда рассуждения о логике научного познания достаточно опираются на знание современного научного материала, и еще хуже, когда этот недостаток пробуют прикрыть рассуждениями о том, что философия марксизма, мол, «не должна» касаться «онгологической» стороны, т. е. реальной картины мира, что это, мол, дело частных наук, а дело философии сводится *только* к исследованию логики познания без «вмешательства» в сущность научных теорий. У Энгельса дело обстояло иначе: логико-гносеологическая функция диалектики прямо вытекала из анализа философской сущности естественнонаучных теорий XIX в., т. е. из мировоззренческой функции диалектики, как вполне определенной концепции развития природы, как общей теории, объясняющей природу в ее развитии.

В настоящем сборнике в центре внимания находится *объективная диалектика процессов природы*, из которой авторы исходят при анализе прогворечий процесса научного познания. Видя свою цель в том, чтобы внести известный вклад в создание современной общей картины мира, авторский коллектив избрал именно *противоречия природы* в качестве предмета исследования по вполне определенным соображениям.

Центр тяжести в развитии диалектики перемещается — и это касается всех ее функций. Для Энгельса обобщение достижений естествознания XIX в. состояло прежде всего в том, чтобы дать связную картину природы как единого целого и как процесса развития. Анализируя три великих достижения науки о природе середины прошлого века (открытие клеточного строения организмов, закона сохранения и превращения энергии, теории Дарвина), Энгельс показал, что отныне природа должна рассматриваться на основе фактов науки как единство и как процесс. Безусловно, большое место в диалектической картине природы у Энгельса отводится противоречию, например, противоположности притяжения и отталкивания в неживой природе, наследственности и приспособления в живой природе. Но в борьбе со старой заскорузлой метафизикой на первом плане была *всеобщая связь и развитие*.

Однако признание всеобщей связи и развития в природе уже с конца XIX в. стало чем-то само собой разумеющимся. В. И. Ленин отмечал, что эти идеи «вошли во всеобщее сознание». Противники диалектики изменились и центр тяжести в борьбе с ними переместился прежде всего и главным образом на вопросы, раскрывающие «внутреннюю механику» процесса развития. Вот почему уже более 50 лет назад В. И. Ленин выдвинул тезис о противоположности диалектики и антидиалектики (метафизики) как *противоположности двух концепций развития*. Кстати надо отметить, что В. И. Ленин относил положение о метафизике, как ошибочной концепции развития, отнюдь не только к XX в., заметив в скобках: «две в истории наблюдающиеся», «две возможные» концепции развития⁶.

⁶ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 317.

Коренное различие этих концепций Ленин усматривал прежде всего в том, что они по-разному подходят к объяснению *источника* движения и развития, его *двигательной* силы. «При второй концепции, — писал Ленин о диалектике, — главное внимание устремляется именно на познание *источника* „само“ движения»⁷.

Закон единства и «борьбы» противоположностей В. И. Ленин характеризовал как *ядро, суть* диалектики как раз потому, что в нем заключен ответ на последний вопрос: во взаимодействии противоположностей, в противоречии находится источник развития. Это очень точно зафиксировано в известном ленинском определении диалектики: «в собственном смысле диалектика есть изучение противоречия *в самой сущности предметов...*»⁸. За полвека, истекшие с тех пор, как В. И. Ленин высказал эту мысль, появилась квантовая теория, в центре которой находится «дуализм» частицы и волны, было открыто диалектическое единство пространства и времени, частиц и античастиц в микромире, торможения и возбуждения в мозговых процессах и многое, многое иное.

Нет сомнения в том, что при создании *современной* диалектико-материалистической картины мира центральная роль должна принадлежать анализу *противоречий природы*. Но это много труднее, чем описать связь областей природы и проследить процесс развития. Может быть поэтому в советской литературе, посвященной философским проблемам естествознания, исследованию противоречий отводится не слишком много места? Так, к примеру, обстоит дело в двух наиболее общих трудах, посвященных диалектике в двух основных сферах природы. В «Очерке диалектики живой природы» противоречиям органического развития непосредственно отведен всего лишь один параграф, а в книге «Диалектика в науках о неживой природе» (где авторами принят несколько иной принцип построения) о противоречиях вообще говорится мимоходом⁹.

Специальное исследование противоречий в процессах природы, начиная от мира элементарных частиц и кончая антропогенезом, представляется поэтому весьма на-

⁷ Там же.

⁸ Там же, стр. 227.

⁹ См. «Очерк диалектики живой природы». М., 1963. «Диалектика в науках о неживой природе». М., 1964.

зревшей и благодарной задачей. Она может решаться двумя основными путями: во-первых, исследованием какой-либо особой области природы, в рамках которой рассматривается специфическое сплетение всех законов и категорий диалектики, причем закон единства и «борьбы» противоположностей, если следовать логике вещей, должен оказаться центральным пунктом рассмотрения. На этом пути легче обеспечить совместную работу философов и естествоиспытателей, поскольку достаточно привлечения специалистов определенного профиля. За последние годы по философским проблемам физики элементарных частиц, общей теории относительности, физиологии и психологии состоялись представительные конференции и вышли в свет книги, означающие шаг вперед в познании объективной диалектики определенных областей реального мира¹⁰.

Но возможен и полезен также другой путь: разработка какой-либо одной, «сквозной» проблемы, философской по своему характеру, с позиций диалектического материализма на материале из *различных* областей природы. В нашей литературе уже имеются удачные примеры такого рода коллективных монографий¹¹. Настоящая книга продолжает эту линию, беря в качестве «стержня» проблему противоречия, как наименее разработанную и одновременно наиболее важную для дальнейшего развития диалектико-материалистической картины природы.

Второй вопрос вытекает из первого. Если в развитии философской, диалектико-материалистической картины мира центральная роль сегодня принадлежит исследованию противоречий в процессах природы, то, с другой стороны, прогресс в познании должен обогащать самоё диалектику, притом в ее центральном пункте. Суммируя сказанное в предшествующих статьях и привлекая дополнительные соображения, мы хотим теперь обсудить вопрос: *как результаты современного научного познания природы и ее противоречий должны учитываться в общей теории диалектики?*

¹⁰ «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев, 1965; «Философские вопросы физиологии высшей нервной деятельности и психологии». М., 1963; «Философские вопросы физики элементарных частиц». М., 1963; «Взаимодействие наук при изучении Земли». М., 1964 и др.

¹¹ «Проблемы развития в природе и обществе». Л., 1958; «Проблема возможности и действительности». М., 1964.

Обратимся к двум пунктам этого вопроса, которые носят, пожалуй, наиболее дискуссионный характер:

а) *Общее и специфическое в действии закона единства и «борьбы» противоположностей.*

В объективной реальности общее не существует иначе как через особенное и единичное, в неразрывной связи с ним. В нашей голове, благодаря способности мышления и абстракции, общее может быть сформулировано и в его непосредственном виде.

Раскрываемое диалектикой соотношение общего, особенного и единичного полностью применимо к ней самой, к действию ее законов. Будучи наиболее общими законами природы, общества и мышления, законы диалектики приобретают в каждой из этих основных областей особенности первого порядка. Но этим дело не исчерпывается. Внутри природы (равно как и внутри общества) многообразие явлений колоссально и поэтому действие законов диалектики в различных областях природы дополнительно отличается особенностями второго (а затем третьего и т. д.) порядка.

Все эти положения хорошо известны. Однако их применение заключает в себе возможность одностороннего подхода. Основных опасностей две. Первая из них связана с догматическим истолкованием законов диалектики, когда конкретные факты науки берутся лишь в качестве «примеров» общего положения. Известно, что В. И. Ленин решительным образом выступал против сведения диалектики к «сумме примеров». И не потому, что примеры не нужны; без них, как известно, не обойтись. Дело в том, что общие положения диалектики в каждой данной области приобретают существенную специфику, без учета которой связь законов и категорий диалектики с законами конкретной науки не может быть правильно понята.

Представленные в данной книге статьи выясняют специфику противоречий в физических, космических, геологических, биологических процессах природы, притом специфика эта отнюдь не исчерпывается указанием на то, к какой форме движения они относятся.

Противоречие притяжения и отталкивания (см. статью И. Я. Лойфмана) есть противоречие специфическое для фундамента материи, притом для *взаимодействия* физических тел. В том же фундаменте материи, т. е.

в физико-химических процессах следует видеть и совсем иного рода противоречия, как, например, противоречие прерывности и непрерывности в *строении материи*; оно рассматривается в статье Г. С. Осипова применительно к твердому телу. Противоречие между возбуждением и торможением (см. статью И. А. Рыбина) есть специфическое для нервной системы противоречие, и только зачатки его заложены в общих свойствах живого.

Все эти противоречия не носят подлинно всеобщего характера, ограничиваясь лишь определенным кругом явлений. Надо учесть, конечно, что физические противоречия имеют место и в более сложных формах движения материи, поскольку последние «надстраиваются» над фундаментом материи. Но объяснять притяжением и отталкиванием социальную жизнь не приходится. Во всех этих случаях всеобщий закон диалектики приобретает *особую форму действия, характерную для определенных форм движения материи*.

Но, наряду с этим, закон единства и «борьбы» противоположностей в природе действует и в таких формах, которые сами носят всеобщий характер, но проявляются, конечно, по-особому. Так, противоречие между устойчивостью и изменчивостью (рассмотренное в статье А. А. Федченко применительно к космическим структурам, а в статье С. С. Шварца применительно к развитию видов животных и растений на Земле) есть *такая форма проявления исследуемого закона, которая сама обладает всеобщностью*, и поэтому специфика его действия оказывается особым сочетанием устойчивости и изменчивости в тех или иных процессах. Так, в развитии организмов противоречие: устойчивость — изменчивость выступает в специфическом виде противоречия между онтогенезом и филогенезом.

Наконец, особая роль принадлежит противоречиям, характеризующим *направление развития*. Если противоречие между обратимостью и необратимостью (рассмотренное в статье В. И. Корюкина в отношении космических процессов) носит всеобщий характер, то противоречие между прогрессивной и регрессивной тенденциями развития (см. статью Е. Ф. Молевича, где прослеживается борьба этих тенденций в развитии живой природы) является всеобщим лишь в потенции. Это противоречие приобретает реальную силу лишь тогда, когда в благо-

приятных для саморазвития условиях материя начинает прогрессивно усложняться¹².

Таким образом, противоречия в природе чрезвычайно многообразны и допускают различную классификацию. Для общей теории диалектики важно учитывать не только переход от всеобщего к особенному по степени общности и по основным формам движения материи, но также и по тому, относятся ли изучаемые противоречия к строению материи, к взаимодействию тел или к направлению развития. По каждой из этих основных линий учет специфики есть необходимое условие познания всеобщего.

Но на этом пути обнаруживается другая опасность — увлечение спецификой противоречия, ее абсолютизацией, вплоть до отрицания общих моментов в законе единства и «борьбы» противоположностей, а тем самым отрицания диалектики как единой науки. Эта опасность была наглядно продемонстрирована за последние годы дважды. Во-первых, при обсуждении предмета диалектики природы некоторые товарищи высказывали идею, будто в неживой природе наличествует своя, а в живой — своя, особая диалектика. Во-вторых, в наиболее явной форме эта мысль нашла свое выражение в дискуссии на симпозиуме по проблемам материалистической диалектики (Москва, апрель 1965 г.). Желая подчеркнуть специфику социализма, иные товарищи дошли до утверждения, будто диалектика при социализме — одна, а при капитализме — уже совсем другая. Продолжив эту мысль, нетрудно прийти от двух диалектик к пяти или десяти диалектикам: искать свою, особую диалектику не только в каждой общественной формации, но и в мире животных, в царстве растений, в развитии Земли, в физических процессах и т. д.

Эта точка зрения встретила решительные возражения как на указанном симпозиуме, так и в печати. Диалектика, безусловно, есть *единая наука*, поскольку в самом реальном мире есть *единая объективная диалектика*. Следовательно, в различных областях природы действуют общие им всем диалектические законы, и прежде всего закон единства и борьбы противоположностей. А это зна-

¹² Более подробно об этом см.: М. Н. Руткевич. Диалектика прогрессивного развития. В кн. «Диалектика и логика научного познания». М., 1966.

чит, что структура этого закона в принципе одинакова, иначе он не был бы законом *всеобщим*. К примеру, нам представляются совершенно неубедительными рассуждения о том, что «единство» есть признак данного закона, присущий только социалистическому обществу. Единство *интересов* социальных групп при отсутствии антагонизма действительно есть специфический признак социализма, но в общей формулировке закона речь идет о единстве противоположностей в несравненно более общем смысле, а именно как наличии противоположных сторон в едином явлении, процессе природы или общественной жизни. Аналогичным образом, попытки отвергнуть «борьбу» противоположностей в природе потому, что, мол, электрон и позитрон, прерывное и непрерывное и т. д. не «борются» в буквальном смысле, базируются на одностороннем, узком понимании «борьбы», как столкновении *интересов*¹³. Но интересы есть интересы людей, в природе интересы отсутствуют. Классики марксизма заключали нередко термин «борьба» в кавычки, ибо в ее общем виде «борьба» суть взаимодействие и переплетение противоположностей.

Всеобщность диалектики неотделима от всеобщности рассматриваемого основного ее закона и вся предшествующая история развития науки убеждает нас в том, что дальнейшее познание природы, открывая для нас все новые и новые специфические формы его действия, не только не подрывает, но наоборот раскрывает эту всеобщность еще более полно.

Ко всеобщим моментам, чертам исследуемого закона следует прежде всего отнести раздвоение единого (т. е. любого целостного объекта) на противоположности (т. е. противоположные свойства, стороны, части, тенденции развития) и «борьбу» (т. е. взаимодействие и переплетение) между ними. Любые противоречия природы (и общества, и мышления) в своей сущности противоречивы — по этой общей структурной схеме, которая всегда берет специфику.

б) Всеобщие моменты закона единства и «борьбы» этими положениями не исчерпываются. На наш взгляд к ним следует отнести также ленинское положение об *абсолютности «борьбы» и относительности единства про-*

¹³ См. об этом также «Философские науки», 1967, № 2, стр. 118—120.

тивоположностей. Этот момент закона В. И. Ленин охарактеризовал следующим образом: «Единство (совпадение, тождество, равнодействие) противоположностей условно, временно преходяще, релятивно. Борьба взаимоисключающих противоположностей абсолютна, как абсолютно развитие, движение»¹⁴.

Однако в понимании этой формулы в советской философии нет единогласия. Мы здесь хотим обратить особое внимание на следующее. Если признать, что это есть всеобщая черта всеобщего закона диалектики, то она должна полностью соблюдаться и в противоречиях природы. Между тем в нашей философской литературе это положение сплошь и рядом трактуется так, что к природе оно после этого становится неприложимо. Вот как, к примеру, разъясняется относительность единства противоположностей в одном из распространенных учебников по диалектическому материализму: «единство противоположных сторон предмета или явления не может быть абсолютным, так как внутри этого единства протекает борьба, которая постоянно нарушает данное единство и приводит в конце концов к новому единству новых противоположностей»¹⁵.

Из сказанного вытекает, что единство относительно, так как при переходе из одного качественного состояния в другое появляется *новое* единство.

Уместно спросить, а «борьба» противоположностей остается прежней? Самое небольшое размышление может подсказать, что переход в новое качество означает не только новое единство противоположностей, но и *новое* их взаимоотношение, взаимодействие, «борьбу».

Действительно, переход в новое качество может быть либо результатом «перехода в противоположность», когда данные противоположности поменялись местами — одна из них из господствующей стала подчиненной, и, наоборот, либо результатом того, что они вообще исчезли, растворившись в новых противоположностях. В обоих случаях качественное изменение предмета как единства противоположностей есть одновременно качественное изменение предмета и как способа сочетания противоположностей, способа их взаимопроникновения.

¹⁴ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 317.

¹⁵ «Диалектический материализм». М., 1962, стр. 160.

Следовательно, если представить процесс развития как цепь сменяющих друг друга качественно различных состояний, то единство и «борьба» противоположностей оказываются в равной мере и абсолютными (поскольку они не исчезают вообще), и относительными (поскольку они изменяют свою форму).

Вот почему приведенная выше трактовка ленинской формулы представляется нам произвольной, а к процессам природы неприменимой. На наш взгляд этот коренной момент важнейшего закона диалектики может быть правильно понят лишь в том случае, если мы — в согласии с естествознанием — учтем, что противоположные стороны и тенденции в каждом данном объекте сплетены так, что одна из противоположностей *доминирует* над другой.

Еще Энгельс заметил, что в земных условиях притяжение господствует над отталкиванием, вследствие чего последнему принадлежит активная роль. Но в развитии разных космических объектов притяжение и отталкивание (см. статью П. А. Федченко) находятся в различном соотношении и в критические моменты господство одной из противоположностей сменяется господством другой (напр. при взрыве в недрах звезд), что ведет к качественному превращению объектов. Так обстоит дело и в иных процессах природы. В окружающих нас условиях частицы преобладают над античастицами, но в гипотетических «антимирах» дело должно обстоять как раз наоборот. Прерывность, т. е. корпускулярные свойства, и непрерывность, т. е. волновые свойства, доминируют в различных объектах микромира (см. статью Г. С. Осипова). Ассимиляция господствует в одних жизненных процессах, всегда переплетаясь с противоположным процессом — диссимиляцией, но при старении организма господствует уже последняя. В развитии органического мира (и общества тем более, но это выходит за пределы нашего рассмотрения) прогрессивная тенденция в целом преобладает над регрессивной, но во многих случаях они временно могут оказаться «равновеликими», обуславливая развитие организмов в «одной плоскости», путем приспособления к изменившимся условиям среды без усложнения или упрощения организации. В развитии же некоторых видов регресс берет верх над прогрессом, поскольку упрощение строения позволяет выгодно исполь-

зывать новые условия существования (этот вопрос подробно рассмотрен в статье Е. Ф. Молевича).

Для наших целей этих фактов достаточно для того, чтобы убедиться в том, что у Ленина после слова «единство» в скобках не случайно приведены другие термины, которые в данном контексте должны разъяснить и дополнить термин, примененный первым, послужить, так сказать, его синонимами. Эти три термина таковы: *совпадение, тождество, равнодействие*. Нам представляется, что совпадение (по силе), тождество (как равенство), равнодействие (как равная сила воздействия друг на друга) противоположностей достигается *в момент их относительного равновесия, когда ни та, ни другая противоположность не доминирует*. Такого рода состояния в природе (и в обществе также) есть обязательный момент «борьбы», «игры», взаимодействия, сплетения противоположных сил и тенденций. И это момент *относительный*, преходящий временный, тогда как «борьба» противоположностей всегда имеет место, и в этом смысле абсолютна. Иначе говоря, известный тезис Энгельса об относительности покоя, равновесия и абсолютности движения находит здесь у Ленина свою конкретизацию, разъяснение с позиций закона единства и «борьбы» противоположностей.

В ряде статей сборника специально рассматривается переход от преобладания одной из противоположных сил и тенденций к преобладанию другой через временное их равнодействие, тождество, которое оказывается моментом перехода объекта из одного состояния в другое. Таким образом, и в этом пункте прогрессирующее познание противоречий в самой основной, исходной сфере объективного мира — природе — является необходимой предпосылкой для развития диалектики, для лучшего понимания ее законов.

Трактовать общие формулы диалектики без учета итогов научного познания природы — дело более чем рискованное, всегда связанное с опасностью «потерять» в законах диалектики ту самую всеобщность, которая определяет силу диалектики как орудия познания.

Таковы два общих вопроса, касающихся диалектики, как мировоззренческой науки и метода познания, которые вытекают из рассмотрения авторами противоречий в процессах природы.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>И. Я. Лойфман.</i>	Противоречивость физического взаимодействия	3
<i>Г. С. Осипов.</i>	Отражение в современных физических теориях некоторых диалектических противоречий в твердом теле	18
<i>П. А. Федченко.</i>	Противоречие устойчивости и изменчивости в космических структурах	34
<i>В. И. Корюкин.</i>	Соотношение обратимости и необратимости в космических процессах	56
<i>И. В. Назаров.</i>	О специфике противоречий в геологических процессах	72
<i>Е. К. Титанова, И. П. Чупин.</i>	О взаимодействии экзогенных и эндогенных процессов в развитии земной коры	86
<i>И. А. Рыбин.</i>	Диалектика нервных процессов	99
<i>Е. Ф. Молевич.</i>	О противоречивой направленности развития живой природы	119
<i>С. С. Шварц.</i>	Противоречия между индивидуальным и филогенетическим развитием — движущая сила эволюции	351
<i>М. Н. Руткевич.</i>	Роль познания противоречий природы для развития диалектики как науки	149

Диалектические противоречия в природе

Утверждено к печати Уральским филиалом АН СССР

Редактор *Е. М. Новикова*. Технический редактор *Л. И. Куприянова*.

Сдано в набор 21/III—1967 г. Подписано к печати 26/X—1967 г. Формат 84×108^{1/32}.
Бумага № 2. Тираж 7000. Усл. печ. л. 11. Уч.-изд. л. 8,3. Т-13443.
Тип. зак. 6656.

Цена 50 коп.

Издательство «Наука», Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука», Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

50 коп.