

5
А-448

И. А. АКЧУРИН

ЕДИНСТВО
ЕСТЕСТВЕННО-
НАУЧНОГО
ЗНАНИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

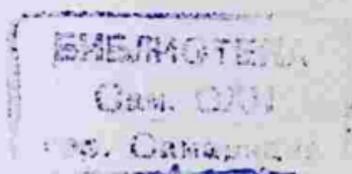
ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ

И. А. АКЧУРИН

5
А-448

ЕДИНСТВО
ЕСТЕСТВЕННО-
НАУЧНОГО
ЗНАНИЯ

246308



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1974

К

+ 111:5

Назревающая в современном естествознании новая научная революция, по-видимому, будет связана с установлением глубокого теоретического единства физики и биологии, подобно тому, как революция в науке начала XX века разрешилась установлением концептуального синтеза физики и химии в виде квантовой теории. В книге исследуются возможности более глубокого и вместе с тем единого (как для физики, так и для биологии) теоретического обоснования понятия организации материальных объектов, столь характерного как для мира элементарных частиц, так и для живых существ. Предлагается использовать в методологическом плане понятия новейшей математики.

Ответственный редактор

Ю. В. САЧКОВ

А $\frac{10502-083}{042(02)-74}$ 137-74

© Издательство «Наука», 1974 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одну из важных и актуальных задач марксистской философии В. И. Ленин сформулировал следующим образом:

«Всеобщий принцип развития надо соединить, связать, совместить с всеобщим принципом *единства мира, природы, движения, материи...*»¹

Настоящая книга представляет собой попытку методологического анализа путей решения этой проблемы в свете данных новейшего развития естествознания; попытку выявить основные философские идеи тех направлений современного естествознания, которые вот уже в течение нескольких десятилетий стараются отыскать новые, более глубокие и общие понятия, которые, возможно, в недалеком уже теперь будущем позволят объединить в единое теоретическое целое такие различные научные дисциплины, как физика и биология, аналогично тому, как последний большой шаг физической науки вперед — квантовая теория установила глубочайший теоретический синтез физики и химии — научных дисциплин, считавшихся в течение многих веков весьма и весьма отличными друг от друга.

Известное высказывание Ф. Энгельса о том, что «действительное единство мира состоит в его материальности, а эта последняя доказывается... длинным и трудным развитием философии и естествознания»², — вот уже в течение почти целого века определяет общую направленность марксистских исследований в этой области. В последние годы ситуация здесь становится все более и более острой: мы имеем в виду неудачи попыток найти

¹ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 229.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 43.

(в рамках только физики) современную форму атомизма, способную единым и теоретически убедительным образом объяснить поистине «спектроскопическое» многообразие элементарных частиц.

«...Логично предположить, что вся материя обладает свойством, по существу родственным с ощущением, свойством отражения»³, — писал В. И. Ленин еще в 1908 г. — на самой заре эры революционных преобразований в физике. По нашему мнению, и квантовая механика, и теория относительности, и квантовая теория поля — только первые шаги комплекса естественных наук в направлении пересмотра всей нашей картины мира, шаги, связанные с установлением прежде всего внутреннего единства самой физической науки и отыскания затем новых глубоких возможностей ее синтеза с другими естественнонаучными дисциплинами.

Как далеко может зайти этот революционный пересмотр современной естественнонаучной картины мира, сейчас трудно сказать. Речь может пойти даже о замене всей классической механистической концепции — представлений о мире в целом как большом и сложном «часовом механизме» — некоторой новой парадигмой — общим представлением о мире как живом организме. Во всяком случае, такой естествоиспытатель как Р. Фейнман и целый ряд его учеников и последователей (Д. Финкельштейн, И. Яух и другие) уже самым серьезным образом исследуют эту возможность⁴. На нее намекает и Ф. Дайсон в своей интересной статье «Будущее физики»⁵.

Как показали новейшие исследования, даже подход «обобщенного редукционизма» (как попытки «сведения» всего многообразия явлений мира к законам наиболее разработанной в настоящее время физической теории) является лишь одной из сторон диалектически противоречивого процесса развития научного знания. Еще Галилей связывал его с «экстенсивными» аспектами прогресса науки — с попытками применить только что от-

³ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 18, стр. 91.

⁴ Fundamental Interactions at High Energies (1969 Coral Gables Conference). N.Y., 1971, p. 325.

⁵ Ф. Дайсон. Будущее физики. — «Успехи физических наук», 1971, т. 103, стр. 529.

крытые, новые научные законы в возможно более широкой области явлений.

Но Галилей же указывал и на то, что существует также и другая сторона процесса развития научного знания — «интенсивная», связанная с движением последнего не «вширь», а в глубь изучаемых предметов. На первый план развития науки она выдвигается обычно только в периоды больших научных революций, в периоды же «нормального» — экстенсивного прогресса научного знания о ней обычно забывают. «Интенсивный» аспект движения науки вперед прежде всего и обуславливает собой формирование радикально новых, поражающих воображение своей общностью и глубиной научных понятий, которые и становятся, как правило, концептуальной базой синтеза научных дисциплин, считавшихся до их создания довольно чуждыми друг другу.

Ведь несмотря на необходимую специализацию и дифференциацию любого раздела естественных наук в наши дни, так называемый информационный «взрыв» в развитии физического и биологического знания носит пока что в основном «экстенсивный» характер. Реальный же прогресс в истории науки всегда был обусловлен прежде всего превращением подобного «экстенсивного» количества публикаций (и содержащейся в них информации) в некоторое «интенсивное» углубление всего нашего миропонимания, связанное с установлением некоторых новых черт единства явлений, дотоле считавшихся ничего общего между собой не имеющими.

Так, механика Ньютона связала воедино универсальными законами движения падение яблока, перемещения Луны и планет, полеты снарядов, пуль и т. п. Кинетическая теория материи — тепловые явления и микроскопические механические движения молекул. Электродинамика Максвелла и электронная теория Лоренца, вообще впервые придавшие почти полное единство всей классической физике, установили также, как известно, потрясшее всех современников полное тождество световых волн и электромагнитных колебаний высокой частоты. Наконец, квантовая теория не только позволила теоретически объяснить совершенно необозримое множество экспериментальных данных относительно свойств атомов и их спектров, но вскрыла к тому же еще такие новые глубокие черты фундаментального внутреннего

единства физики и химии, что сделалась фактически общим концептуальным базисом обеих научных дисциплин.

Наибольший интерес для нашей темы представляет явление «конфронтации»⁶ больших (относительно замкнутых дотолем) понятийных систем, выявившееся в развитии физической науки XX в.— в истории формирования теории относительности и квантовой механики. После того как в физике XIX в. было создано уже несколько больших понятийных систем (в добавление к сформировавшейся ранее Ньютоновой механике — также еще кинетическая теория теплоты (плюс термодинамика) и классическая электродинамика), этап редуccionизма, т. е. период попыток «сведения» явлений некоторой новой области действительности к уже разработанной физической теории, становится в XX в. ограниченным и во времени.

В новую область явлений начинают теперь бурную «редуccionистскую экспансию» уже сразу две или несколько понятийных систем, которые рано или поздно придут там — среди совершенно новых явлений — в состояние теоретической конфронтации друг с другом — как старые, ньютоновские представления механики о пространстве и времени скоро пришли в полное противоречие с группой преобразований уравнений Максвелла в теории электромагнитных явлений в быстродвижущихся средах или те же самые законы электродинамики — с основными положениями кинетической теории тепла (или термодинамики) при анализе излучения абсолютно черного тела.

Именно во время этой интенсивной и многосторонней конфронтации уже существующих теоретических систем и формируются совершенно новые, более глубокие и универсальные научные понятия, способные охватить собой как все старые идеи и результаты, так и принципиально новые, никак не сводимые ни к чему другому явления только еще изучаемой области действительности. Таков был путь образования наиболее глубоких понятий теории относительности и квантовой механики⁷. Таков, по

⁶ М. И. Подгорецкий, Я. А. Смородинский. Об аксиоматической структуре физических теорий.—«Категория структуры и развитие физики элементарных частиц». Дубна, 1966, стр. 6.

⁷ Н. Ф. Овчинников. Особенности развития и тенденция к единству

нашему мнению, будет и путь дальнейшего прогресса физической и биологической наук — интенсивная и многоплановая конфронтация всех существующих больших понятийных систем физики в области общих исследований современным естествознанием самых различных форм организации материи — как в виде «спектроскопического» многообразия элементарных частиц, так и в виде всегда неповторимых, весьма своеобразных структур жизни.

Эти попытки конкретизировать общие идеи материалистической диалектики о противоречиях как основной движущей силе всякого развития — в том числе и научного — позволяют сделать вывод, что конечным итогом длительного, сложного и трудного «противоборства» различных понятийных систем физики и биологии в эмпирическом материале этих наук станет их диалектический синтез — принципиально новая система более глубоких научных понятий, которая явится общим концептуальным базисом как физической, так и биологической наук.

Философские и методологические проблемы, поставленные революцией в естествознании начала нашего века, как известно, были всесторонне проанализированы В. И. Лениным в «Материализме и эмпириокритицизме». И нам кажется далеко не случайным тот факт, что наиболее фундаментальные естественнонаучные идеи этой книги — идея неисчерпаемости электрона (как первой известной тогда элементарной частицы) и идея об обладании всей материей свойством отражения — представляют собой смелые (для того — и даже для нашего — времени) гипотезы, идущие как раз в направлении установления новых, более глубоких сторон единства физики и биологии.

В. И. Ленин одним из первых в мировой литературе указал на существенно новую черту в современной трактовке материального единства мира — «единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений»⁸. Позднее, в «Философских тетра-

научного знания.—В сб.: «Проблемы истории и методологии научного познания». М., 1974, стр. 74.

⁸ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 18, стр. 306.

дах» он подчеркнет, что «...понятие закона есть **одна** из ступеней познания человеком *единства и связи*, взаимозависимости и цельности мирового процесса»⁹.

Что же касается самих этих законов, общих как для физики, так и для биологии, то их установление — и по сей день одна из главных задач теоретического естествознания нашей эпохи. В той или иной степени они окажутся, по-видимому, каким-то глубоким синтезом идеи неисчерпаемости элементарных частиц и идеи об универсальности свойств отражения для всей материи (вероятно, эксплицированных с помощью топологических¹⁰ структур).

⁹ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 135.

¹⁰ Интересную экспликацию этих идей дал И. А. Рапопорт (Микрогенетика. М., 1966).

НЕОБХОДИМОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ И КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ФИЗИКИ НАШИХ ДНЕЙ

§ 1. Спектроскопия субмикромра и диалектика

1.1. Современный этап в развитии физики и философия

Диалектико-материалистическая философия, как известно, уже способствовала выработке плодотворнейших физических идей (таких, например, как сложность внутренней структуры элементарных частиц, диалектически противоречивое единство их корпускулярно-волновой природы, принципы соответствия, сохранения и причинности в развитии физических теорий и т. п.).

Ныне, во второй половине XX столетия, перед учением о строении материи стоят еще более важные, еще более величественные задачи. Впервые его центральной проблемой становится проблема максимальной степени общности. Ведь всякое явление, исследуемое сейчас естествознанием, предстает перед нами как некоторый процесс, протекающий в определенной совокупности элементарных корпускул. Все известные нам ныне материальные объекты состоят из этих «кирпичей мироздания» нашего времени. Они образуют все многообразие доступных нам тел Вселенной: от повседневных предметов окружающего мира — до удаленных от нас на многие миллиарды световых лет звезд и галактик, от случайных скоплений отдельных частиц — до их более или менее высоко организованных структур или агрегатов (таких, как звезды, кристаллы, химические или даже биологические структуры и т. п.).

Только несколько лет тому назад на самом «краю» исследованной нами части Вселенной были открыты объекты, которые по предположениям некоторых ученых могут состоять не из элементарных частиц, а являться состояниями материи «дозвездной», «доэлементарной» природы. Это — так называемые квазары, отстоящие от

нас на 3—12 миллиардов световых лет. Так что, разумеется, не надо поспешно, недialeктически думать, что успешное решение основной задачи современного учения о строении материи — создание общей теории элементарных корпускул — решит «все» задачи физической науки, положит предел ее дальнейшему развитию.

Конечно, весьма большая широта и общность проблемы элементарных частиц (в рамках физической науки) позволяют предположить, что создание такой теории, овладение физическими законами природы огромной степени общности, принесет человечеству практические результаты, в конечном счете неизмеримо более ценные, чем те, которые дало ему овладение силой огня, пара, электричества и даже энергией атомных ядер.

Ничто кроме диалектики не может помочь нам в углублении понимания, например, диалектически противоречивого единства изменчивости и устойчивости свойств элементарных частиц. С одной стороны — все растущее количество их видов и разновидностей и взаимная превращаемость как самый способ их существования, их бытия, всеобщая, затрагивающая все элементарные корпускулы способность порождать в определенных условиях все возрастающее множество других, качественно весьма своеобразных. С другой же стороны — удивительное постоянство масс, зарядов, спинов и других характеристик и закономерностей движения любого из видов элементарных корпускул — совершенно независимо от того, существовала ли эта частица миллиарды лет до появления человека, была ли она только что образована в искусственном, созданном трудом многих людей ускорителе или же возникла в результате гигантского взрыва в удаленнейшей звезде или галактике.

Относительно различных сторон этого совершенно неповторимого сочетания постоянства и изменчивости современная наука ставит массу труднейших вопросов: почему существуют именно такие качественно своеобразные частицы, почему именно таковы их массы, спины, заряды и другие константы взаимодействий и т. п.? Почему имеются группы родственных корпускул с одинаковыми зарядами или другими характеристиками? Или, может быть, самый трудный, который некоторые физики даже боятся задать: а почему определенные характеристики частиц вообще столь строго постоянны? Аналогич-

ные вопросы можно поставить и о превращаемости корпускул: почему определенные виды частиц связаны друг с другом непосредственными процессами генерации или распада, а другие — превращаются друг в друга только опосредованно, благодаря промежуточным, так называемым виртуальным состояниям?

Именно в таких пунктах физическая наука самым непосредственным образом начинает «работать», так сказать, с помощью философских категорий: первыми с неизведанным, еще не исследованным сталкиваются даже в физике именно они — как наиболее общая, философская «модель» мира. В современной науке — да и в науке всех времен — всегда бывали именно такие критические моменты ее развития, когда она, переходя от одного уровня исследования своих объектов к другому, более глубокому, волей или неволей должна непосредственно заняться философией, чтобы иметь пусть самое общее, но в достаточной мере адекватное представление о том, с чем она столкнулась на новом уровне материальной действительности.

Именно такова была ситуация в физике в эпоху выхода в свет книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», именно такой становится она постепенно в учении о строении материи и теперь. И только материалистическая диалектика, как и в начале нашего века, оказывается в состоянии дать адекватную общую картину той действительности, к которой человек «прорывается» с помощью своих гигантских ускорителей, телескопов и радиотелескопов, утонченной электронной техники.

Это становится все более и более очевидным по мере катастрофически быстро ускоряющегося накопления экспериментальных данных в физике высоких энергий — разделе науки, исследующем поведение вещества при самых больших концентрациях энергии на материальных объектах. В этом смысле физика элементарных частиц высоких энергий — демонстрационная площадка диалектики в современном естествознании.

Ниже мы убедимся, насколько глубокая диалектичность основных свойств и качеств характерна для абсолютно всех объектов современного учения о строении материи — от любых типов корпускул до абсолютной пустоты, физического вакуума, считавшегося до недавнего

времени почти чистым «ничто» — чистой геометрической протяженностью, лишенной каких-либо материальных свойств.

Надо сказать, что решение научных проблем такого масштаба невозможно на основании только каких-то узкочастных методов и приемов исследования. Человек выходит здесь на самую грань исследованной им сферы бытия материи, и здесь, как правило, почти все обычно применяемые им средства теоретического исследования перестают «работать» — понятия оказываются внутренне противоречивыми, в математических формулах появляются бессмысленные — бесконечно большие величины, эксперимент, практика обнаруживают множество фактов, которые нельзя предсказать на основании какой-то теории и которые поэтому приходится постулировать.

Вот в такие критические моменты развития научной мысли, когда она переходит от объектов одного уровня организации материи к объектам более глубоко лежащего уровня, кардинальное значение для дальнейшего прогресса любой науки приобретает наиболее общая теоретическая модель мира, вырабатываемая философской наукой. Как раз поэтому в критические годы формирования новых фундаментальных понятий резко возрастает интерес широких кругов ученых к философии. Достаточно напомнить здесь яростные философские споры картезианцев и ньютоновцев в эпоху создания классической механики, определяющее влияние философии Шеллинга на направление исследований Фарадея по электромагнетизму, огромный интерес Эйнштейна на протяжении всей его жизни к философским проблемам своей науки, наконец «сократический» способ обсуждения научных проблем на семинаре Бора в Копенгагене, описанный ныне в многочисленных воспоминаниях и популярных книгах¹.

И сейчас, когда физика элементарных частиц все быстрее и быстрее погружается в никем еще не исследованные пучины «странного» мира сильных, электромагнитных и слабых взаимодействий, перед нами — та же картина. Один из создателей квантовой механики и квантовой теории поля, а также нелинейной спинорной теории элементарных частиц В. Гейзенберг выпускает

¹ См., например, *Р. Юнг. Ярче тысячи солнц*. М., 1961, стр. 40.

одну за другой вот уже три книги², специально посвященные философским проблемам своей науки. Создатель современной схемы классификации элементарных частиц, так называемого «восьмеричного пути» М. Гелл-Ман, не дожидаясь конца XII международной конференции по физике высоких энергий (Дубна, 1964 г.), едет в Непал и Таиланд — его давно занимала связь его теории с восемью путями достижения добродетели, рекомендованными еще Буддой, и он «на месте» хочет исследовать этот вопрос. Основоположник работ по классификации элементарных корпускул, один из руководителей японской школы теоретической физики, С. Саката публикует целый ряд философских диалогов относительно путей дальнейшего развития физической науки³. Создатель современной формы квантовой теории Р. Ф. Фейнман начинает чтение курса лекций по общей физике, которые посвящены во многом философскому анализу основных понятий и методов этой науки⁴. Гордившиеся некоторое время назад своей «афилософичностью» физические журналы «Физикал Ревю», «Нуово Чименто», «Ревю оф Модерн Физикс» и другие возобновляют публикацию философских статей. Наконец, два из последних Сольвеевских конгрессов, как и во времена Эйнштейна, Бора, Лоренца, Планка, Ланжевена и других, большую часть своего времени посвящают философскому обсуждению проблем, поставленных новейшим развитием физической науки⁵.

Но все эти факты — только «поверхность», только внешняя сторона процесса «философизации» современной физики. Гораздо более интересны глубинные процессы проникновения идей диалектико-материалистической философии в самую сущность современных теорий элементарных частиц, разрабатываемых зачастую уче-

² W. Heisenberg. Physik und Philosophie. Stuttgart, 1959; Der Teil und das Ganze. München, 1969; Schritte über Grenzen. München, 1973.

³ С. Саката. Новые представления об элементарных частицах. — «Вопросы философии», 1962, № 6, стр. 129; К вопросу об истолковании квантовомеханической теории. — «Вопросы философии», 1962; № 9, стр. 132.

⁴ Р. Фейнман и др. Фейнмановские лекции по физике. М., 1965, вып. 1—10.

⁵ «La théorie quantique des champs (1961 Solvay Conference)». Bruxelles, 1962; «Fundamental Problems in Elementary Particle Physics (1967 Solvay Conference)». N. Y., 1968.

ными, не только не знакомыми с этой философией, но даже заявившими о своей принадлежности к совершенно иному философскому направлению.

1.2. Черты «объективной» диалектики мира элементарных частиц

Поражает прежде всего многообразие и глубокое качественное своеобразие тех форм материального движения, которые имеют место на уровне микрокорпускул. В настоящее время науке известно в общей сложности около сотни различных элементарных частиц, претерпевающих в тех или иных обстоятельствах более тысячи разнообразнейших процессов взаимных превращений и трансформаций.

Исторически и логически понятие элементарных корпускул возникло в связи с развитием наших знаний о строении атома. «Неделимый» атом древних, простейший «кирпич мироздания» более поздних мыслителей в свете данных науки XX столетия оказался, как известно, делимым, сложным, обладающим своеобразной внутренней структурой. При этом оказалось — и это сыграло в формировании понятия элементарной частицы решающую роль, — что основные составляющие элементы атомов — электроны, протоны и нейтроны — ведут себя во внутриатомных процессах в довольно большом интервале энергий как простейшие бесструктурные корпускулы, обладающие определенными, раз и навсегда заданными свойствами и качествами (определенной массой, зарядом, спином и т. д.). Все попытки как-то выявить внутреннюю структуру электронов, протонов или нейтронов, как-то «возбудить» их внутренние степени свободы до самого последнего времени никаких результатов не давали.

Электрон был первой «элементарной» корпускулой, существование которой было сразу же доказано многими экспериментами и свойства которой были изучены самым тщательным образом. Еще в 1881 г. крупнейший физик второй половины XIX в. Герман Гельмгольц, анализируя законы Фарадея для электролиза, выдвинул гипотезу о прерывном, «зернистом» строении электричества. Само слово «электрон» для обозначения наименьшего «атома» электричества предложил десятилетие спустя английский физик Дж. Стоней. Вскоре электроны были получены, так сказать, в «свободном состоянии» —

в виде катодных лучей, возникающих при прохождении электрического тока сквозь разреженные газы в откачанных трубках («четвертое состояние вещества»).

Большая группа исследователей (Дж. Дж. Томсон, У. Крукс, Ф. Ленард и другие) тщательно исследовала свойства свободных электронов (знак заряда, отношение заряда к массе, закон возрастания массы с увеличением скорости и т. д.). Было установлено также, что электроны входят в состав всех веществ, имеющих на Земле. Так называемая электронная теория Лоренца была создана на основе этих экспериментальных данных и представляла собой попытку понять физические свойства материи исходя из свойств одной элементарной частицы — «атома» электричества, электрона. Примерно в то же самое время, в 1905 г., А. Эйнштейн, развивая идеи М. Планка о прерывности, квантованности процессов излучения и поглощения электромагнитного излучения, показал, что объяснить закономерности фотоэффекта (вырывания светом электронов с поверхности некоторых веществ) можно только на основе представлений о свете как потоке мельчайших частиц — «комочков светового вещества» — фотонов.

Эти два крупнейших открытия составили эпоху в развитии физической науки. Свойства двух самых «старых» корпускул были изучены самым тщательным образом, и теперь мы в состоянии предсказать с достаточной степенью точности поведение электронов и фотонов в любой интересующей нас экспериментальной ситуации. Это явилось основой современного расцвета электротехники, радио и телевидения, радиолокации и полупроводниковой техники в их применении к энергетике, автоматике, телемеханике, связи, кибернетике и т. п. Уравнения Максвелла (в обычной или квантованной форме) с исчерпывающей полнотой описывают качественно своеобразные закономерности электромагнитного поля и сопоставляемых ему квантовых корпускул — фотонов. Классические уравнения Лоренца (или квантовое уравнение Дирака) с наименьшей полнотой описывают все без исключения детали поведения электронов⁶.

Поскольку структура электронных энергетических уровней в атомах, молекулах, кристаллах и т. п. опре-

⁶ В. Тирринг. Принципы квантовой электродинамики. М., 1964.

деляет механические, тепловые, электрические, оптические и прочие свойства окружающих нас макроскопических тел, постольку наши общие, так сказать, «онтологические» представления о мире, о качествах вещей, о свойствах пространства-времени определяются свойствами электромагнитных взаимодействий электронов и зарядов ядер с фотонами.

Отличительной чертой этих взаимодействий является их относительная «слабость». Если считать мерой связи электронов с фотонами величину их заряда, выраженную в виде безразмерной постоянной (так называемая постоянная тонкой структуры), то получается почти точно дробь $1/137$. Малость этой дроби и является выражением слабости связи фотонов с зарядами, благодаря чему фотоны могут распространяться и в отсутствие последних, генерируя электронно-позитронные пары только при довольно больших энергиях. Поэтому в обычных, макроскопических условиях фотоны можно довольно четко отделить от электронно-позитронных пар и т. п.

Другое дело — тяжелые, ядерные частицы и их взаимодействия, обуславливающие связь нуклонов в ядрах, образование мезонов, гиперонов, антинуклонов и многочисленнейших «резонансов» в ядерных столкновениях при больших энергиях. Исторически первая из таких корпускул — протон — была открыта, как известно, как «свободное» ядро атома водорода в классических опытах Эрнеста Резерфорда 1911—1913 гг. по рассеянию заряженных частиц, которые позволили получить первые важные сведения о строении атомов. Позднее, в 1932 г. Джеймсом Чадвиком была открыта тяжелая нейтральная ядерная частица — нейтрон, и сразу же после этого началось интенсивнейшее исследование тех сил и взаимодействий, которые ответственны за удержание протонов и нейтронов в малых объемах ядер. Эти исследования привели к теоретическому предсказанию целого семейства промежуточных ядерных частиц — мезонов, которые имеют какое-то отношение к ядерным силам.

Первый мезон предсказал еще в 1935 г. японский физик Хидеки Юкава, но только после второй мировой войны физики-экспериментаторы смогли разобраться, что на самом деле частиц с массой, промежуточной между массами электрона и нуклонов, существует несколько ти-

пов, в том числе мю-мезон (с массой в 215 масс электрона), который никакого отношения к ядерным силам не имеет, и пи- и ка-мезоны (с массами в 275 и 969 электронных масс соответственно), которые действительно связаны с сильными, ядерными взаимодействиями. В послевоенные же годы было открыто также целое семейство гиперонов — возбужденных состояний протонов и нейтронов с массами несколько больше массы последних.

Наиболее отличительная черта почти всех частиц, имеющих отношение к сильным, ядерным взаимодействиям, — их нестабильность, ограниченное время жизни: от 14 минут у свободного, не связанного в ядрах нейтрона до 10^{-23} сек. у так называемых резонансов. Таким образом, все они, за исключением протона, за это время успевают распасться или на другие нестабильные или на какие-то стабильные, устойчивые корпускулы. Все рекорды быют в этом отношении открытые в самые последние годы «резонансы» — сверхнестабильные частицы со временем жизни 10^{-23} сек., представляющие собой «слипшиеся» пары, тройки и т. д. перечисленных выше устойчивых или метастабильных корпускул.

Но еще более удивительны свойства ядерно взаимодействующих частиц, обусловленные тем фактом, что эти последние взаимодействия являются гораздо более сильными, чем взаимодействия электромагнитные: соответствующая безразмерная постоянная связи нуклонов с мезонами равна примерно 14. Это обуславливает, например, то, что нуклон нельзя даже представить себе лишенным облака мезонов вокруг него («мезонной шубы», как говорят физики-теоретики), а в любом процессе с участием ядерных частиц определяющее значение приобретают каналы реакции с участием весьма большого числа особых промежуточных («виртуальных») корпускул. В результате этого любой процесс сильных взаимодействий протекает как комплексное многоступенчатое явление с очень большим числом виртуальных частиц в промежуточных состояниях. И все наши попытки расчета таких процессов приводят чаще всего к уравнениям, в которых каждый член, каждое слагаемое, представляет собой бессмысленную бесконечно большую величину. Количественной теории сильных взаимодействий, подобной квантовой электродинамике для случая электронов и фотонов, в настоящее время не существует.

Проявлением изысканнейшего «коварства природы» называют часто физики-теоретики наличие в природе — небольшой пока что, но имеющий тенденцию к росту — группы корпускул, связанных с так называемыми слабыми, распадными взаимодействиями (электронное и мю-мезонное нейтрино и мю-мезон). Слабые взаимодействия обуславливают, как известно, бета-распад тяжелых радиоактивных ядер и распады гиперонов и мезонов на более легкие частицы. Соответствующая безразмерная постоянная связи имеет порядок 10^{-14} — удивительно малую величину, определяющую исключительную слабость связи этих корпускул с обычным веществом. Так, например, нейтрино в состоянии пройти толщину гигантской звезды, ни разу не провзаимодействовав ни с одной ее частицей. Но зато мю-мезон и нейтрино обладают способностью «различать» правую и левую системы координат в пространстве — именно в процессах с их участием Ву Цзян-сун и другие исследователи обнаружили различие количества вылетающих под данным углом к оси X корпускул в правой и левой системах координат.

Относительно слабо взаимодействующих частиц можно поставить массу интереснейших вопросов, ответа на которые пока что нет. Например, мю-мезон имеет ряд тех же свойств, что и электрон, но масса его в несколько сот раз больше массы последнего. По какой причине это имеет место?

Другой стороной проблемы элементарных частиц в современной физике, в которой диалектика исследуемого предмета также чувствуется с необыкновенной остротой, является сам вопрос об их элементарности. Позитивистски настроенные ученые пытались некогда трактовать элементарные корпускулы как наконец-то найденные, действительно «последние кирпичи мироздания», совершенно бесструктурные образования, геометрические точки, не имеющие никаких структурных отношений ни к окружающему их пустому пространству (вакууму), ни к другим элементарным частицам. Развитие физики последних десятилетий показало полную несостоятельность такого недиалектического понимания элементарности.

Каждая элементарная корпускула, оказалось, «содержит» в качестве совершенно необходимых элементов

своей структуры все другие частицы, но только в особом, «виртуальном» состоянии. Так, тяжелая ядерная частица протон — ядро атома водорода — «содержит» в самой внешней своей оболочке, «атмосфере», очень «разреженной», но зато простирающейся очень далеко — до бесконечности, — виртуальные фотоны, корпускулы электромагнитного поля — световые кванты, только находящиеся в особом состоянии. Если протон приобретает некоторую энергию и начинает двигаться ускоренно, часть этих квантов электромагнитного поля приобретает реальное бытие: протон начинает испускать электромагнитное излучение, фотоны.

Более «плотную», но зато простирающуюся на совершенно ничтожное расстояние в 10^{-13} см от центра протона оболочку представляет из себя «атмосфера» его виртуальных пи-мезонов (квантов поля ядерных сил). Эта мезонная атмосфера имеет, как показали недавние эксперименты, очень ярко выраженную «слоистую» структуру: внешние слои содержат преимущественно одиночные виртуальные пи-мезоны, более же глубоко лежащие — «слипшиеся» пары пи-мезонов (так называемые ро-мезоны), еще более глубокие слои — «слипшиеся» тройки пи-мезонов (так называемые эта- и омега-мезоны)⁷. У самой «сердцевины» протона, его «керна», имеющего размеры $0,4 \cdot 10^{-13}$ см, простирается виртуальная «атмосфера» более тяжелых, «слипшихся» пар ка-мезонов — так называемых фи-частиц. Наконец, «кern» протона, еще очень мало исследованный, буквально только еще «нащупанный», содержит, по-видимому, виртуальные пары (частицы плюс их античастицы) самых тяжелых из известных в настоящее время корпускул — протонов, нейтронов, лямбда-, сигма- и кси-гиперонов.

Как и в случае виртуальных фотонов, если протон, приобретя определенную энергию, столкнется с какими-то другими корпускулами, некоторые из перечисленных выше виртуальных частиц приобретут реальное бытие и «оторвутся» от породившего их протона — произойдет генерация пи-, ка-мезонов или же антипротонов, антинейтронов, лямбда-, сигма- или кси-гиперонов.

⁷ С. Дрелл, Ф. Захариазен. Электромагнитная структура нуклонов. М., 1962.

Примерно такую же виртуальную структуру имеют, по-видимому, и другие элементарные корпускулы. Мы подробно описали здесь виртуальную структуру протона по той причине, что теоретически предсказанная диалектически мыслящими учеными еще до второй мировой войны, она только в самые последние годы получила блестящее экспериментальное подтверждение. Совершенно ясно, однако, что даже само наше понимание элементарности частиц в свете этих фактов может быть только глубоко диалектическим, только учитывающим глубокую внутреннюю противоречивость и единство соотношения части и целого, элемента и структуры, возможного и действительного.

Но, пожалуй, самое удивительное открытие современной физики — это открытие своеобразной «диалектической» природы вакуума — того «ничто», «пустоты небытия между атомами бытия», чьи свойства волновали философов и естествоиспытателей еще со времен элеатов и атомистов античности. Сомнения Аристотеля и Декарта в существовании лишенной материи пустоты, поддержанные материалистической диалектикой, оказались совершенно оправданными. Вакуум оказался «пустотой» лишь до некоторого энергетического и пространственно-временного рубежа — пока изучаются процессы с недостаточной концентрацией энергии на корпускулах и поэтому разыгрывающиеся на довольно значительных пространственно-временных интервалах. Лишь тогда вакуум представляется как совершенно бесструктурная, пассивная протяженность. Но как только этот рубеж пройден, вакуум оказывается «разбушевавшимся океаном» разнообразнейших процессов порождения и исчезновения пар всевозможных элементарных частиц, от самых легких — фотонов и электронов, до самых тяжелых ядерных частиц — нуклонов и гиперонов. Вакуум оказался обладающим сложнейшей структурой, но структурой виртуальной, во многом подобной описанной выше виртуальной структуре протона. Поэтому пока не пройден определенный энергетический и пространственно-временной рубеж, имеется только возможность обнаружения в вакууме той или иной частицы. Но как только этот рубеж пройден, эта возможность немедленно переходит в действительность, и виртуальная частица превращается в реальную, приобретает реальное бытие. Таким обра-

зом, вакуум, оказывается, представляет из себя не лишнюю материю пустоту, а особое состояние вечно движущейся, развивающейся материи.

В этих представлениях современной физики о виртуальной структуре корпускул и вакуума, о неразрывно связанных с ними виртуальных процессах интереснейшую конкретизацию приобретают и другие фундаментальные идеи материалистической диалектики — о неразрывной связи материи и движения, о глубокой противоречивости внутренней природы любых объектов научного исследования. Казалось бы нет ничего, более противоположного материи и движению, чем вакуум, и тем не менее и он оказался в свете современных физических представлений всего лишь одним из состояний материи, в котором непрерывно протекают сложнейшие процессы порождения и исчезновения самых различных элементарных частиц. В свою очередь каждая из последних оказалась неразрывно связанной с целым семейством виртуальных процессов-превращений самого неожиданного рода.

Таким образом, и сами элементарные корпускулы и пространство, свободное от них, — физический «вакуум» — оказались неразрывно связанными с очень своеобразными, качественно неповторимыми формами движения материи. Причем по мере движения «в глубь» этих объектов все большее значение начинают приобретать процессы внутреннего движения — «внутри них», связанные, так сказать, с полной противоположностью данных объектов: в вакууме появляются виртуальные корпускулы материи, внутри материальных корпускул обнаруживается их «кери», содержащий античастицы данных корпускул.

На наш взгляд, трудно найти в настоящее время в точных науках более яркие примеры глубокого и всестороннего проникновения диалектики в самую сущность научных исследований.

1.3. Диалектика непрерывного и дискретного: поле и вещество

Другие очень важные стороны диалектически противоречивой природы объектов, изучаемых современным учением о строении материи, долгое время — фактически со времен Ньютона и вплоть до создания квантовой

теории полей в 30-х годах нашего столетия — не были достаточно ясно осознаны, так как изучались совершенно различными разделами физики — физикой частиц и физикой полей. Исторически идеи атомизма были применены в физике, как известно, впервые к тому большому классу материальных объектов, который мы связываем с понятием вещества — материи, наделенной некоторой инертной массой, а следовательно, обладающей и некоторой тяжелой массой — весом.

Атомистические идеи дискретности, корпускулярной структурности в организации бытия материальных объектов явились основой формулировки Ньютоном системы законов классической механики: основополагающее в ньютоновской динамике понятие массы тела удаётся сформулировать сколько-нибудь содержательным (с физической точки зрения) образом, используя — явно или неявно — предположение о том, что масса тела пропорциональна количеству содержащихся в нем атомов. Огромные теоретические успехи в создании в последующие годы механической картины мира, все возрастающее количество успешных практических применений классической механики в инженерном деле, строительстве и т. п., наконец, огромный успех атомистической гипотезы в химии — все эти обстоятельства на долгое время закрепили в глазах ученых представление о том, что структурная дискретность, атомизм характерны и присущи только материальным объектам в виде вещества, объектам, наделенным массой покоя.

Между тем, и во времена Ньютона и позднее, особенно в XIX столетии, все возрастающее внимание ученых-физиков стали приковывать к себе материальные объекты, наделенные диаметрально противоположной особенностью своей структурной организации — полной непрерывностью, абсолютной, казалось бы, бесструктурностью. Такими объектами оказались физические поля: гравитационное, исследование которого было начато еще античной физикой и основные феноменологические закономерности «поведения» которого удалось сформулировать только Ньютону, и электромагнитное, известное отдельно как электрическое и магнитное еще на Древнем Востоке и постепенно ставшее в XIX в. основным объектом исследования все возрастающего числа первоклассных ученых.

Довольно большой промежуток развития физической науки предстает перед нами, таким образом, как раздельное, зачастую проводимое совершенно различными учеными и почти не соприкасающееся исследование двух диалектически противоположных форм бытия материи: одной — наделенной корпускулярной структурной организацией, дискретностью, и другой — полной ее противоположности, — наделенной континуальной, непрерывной организацией.

Конец XIX и прошедшие годы XX в. очень убедительно подтвердили справедливость замечания Энгельса в «Диалектике природы» о том, что «Гегель очень легко разделяется с этим вопросом о делимости, говоря, что материя — и то и другое, и делима и непрерывна, и в то же время ни то, ни другое, что вовсе не является ответом»⁸. Без конкретного естественнонаучного исследования, в каких пределах, при каких энергиях тот или иной объект непрерывен, а в каких условиях, на каком энергетическом рубеже он становится дискретным — и наоборот, — подобное утверждение рискует превратиться в ничего не значащую общую фразу.

Понадобилось многолетнее, часто мучительное развитие физики, чтобы показать, что противоположность дискретного и непрерывного в фундаментальных физических теориях действительно имеет относительную природу, что эти противоположности действительно способны переходить друг в друга в определенных условиях.

Все началось после того, как Максвеллу удалось найти «полную» систему закономерностей, описывающую «все», сколь угодно хитрые детали поведения «непрерывной» формы бытия материи — электромагнитного поля. Это был триумф «физики непрерывного» — впервые физика поля достигла уровня физики дискретного (если не считать систему уравнений классической гидродинамики, которую также можно считать описывающей поведение чисто непрерывного субстрата, — но, если разобратся до конца, в этом случае мы имеем дело с выбором «непрерывного приближения» для формулировки закономерностей поведения на самом деле все-таки существенно дискретной среды). Впервые были получены закономерности поведения существенно «непрерыв-

⁸ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 560.

ного» физического объекта с континуальным множеством степеней свободы.

Естественно, что эти закономерности были применены к изучению поведения электромагнитного поля в самых различных ситуациях. И это дало огромнейшие практические результаты: и радио, и телевидение, и вся бытовая и промышленная электротехника, и даже кибернетические электронные счетные машины — все это не более как результат применения найденных Максвеллом закономерностей поведения непрерывного поля к некоторым частным случаям. Но в одной вполне определенной конкретной задаче — при расчете спектра излучения, выходящего сквозь отверстие равномерно нагретой, зачерненной изнутри полости, так называемого абсолютно черного тела, теория электромагнитного поля дала результаты, прямо противоположные тем, которые дал эксперимент.

Многочисленные попытки как-то справиться с ситуацией, в чем-то незначительно изменить или исправить уравнения ничего не дали. Экспериментальные данные по излучению нагретых тел оказалось возможным согласовать с теорией поля исключительно дорогой ценой, — предполагая, что и непрерывному электромагнитному полю в некоторых случаях присущи черты дискретности, атомизма, квантованности. Это поистине революционное для всего естествознания предположение было сделано, как известно, Максом Планком на самом рубеже нашего века первоначально в очень осторожной форме — только в отношении процессов испускания и поглощения излучения. Но уже через несколько лет, в 1905 г. Альберт Эйнштейн в своих классических работах по фотоэффекту убедительно показал, что дискретность, квантованность ранее считавшегося только непрерывным электромагнитного поля существенна и для его взаимодействия с дискретными материальными объектами, входящими в состав любой разновидности вещества, — электронами.

Так, весьма убедительно продемонстрировав глубокую диалектичность развития своих теоретических построений, физика поля пришла к необходимости найти какое-то принципиально новое решение антиномии дискретности и непрерывности, отличное от того, которое связывает дискретность только с веществом, а непре-

рывность — только с полем. Но к этому времени аналогичное положение сложилось и с представлениями о том, что дискретность, атомизм являются отличительными особенностями всякого вещества и что его непрерывность является лишь результатом несовершенства наших органов чувств или следствием выбора определенного способа описания или приближения при исследованиях.

Развитие атомной физики в первые десятилетия нашего века привело, как известно, к открытию и экспериментальному обоснованию электронно-ядерной модели строения вещества Резерфорда. Сначала казалось, что эта модель еще более резко подчеркивает дискретную, атомарную структуру формы бытия материи в виде вещества — в противоположность непрерывности поля. Но очень скоро стало ясно, что создать сколько-нибудь удовлетворительную количественную теорию электронных движений в атомах можно только ценой отказа от многовековых представлений о дискретной локализации частиц вещества в определенных точках пространства. Революционный шаг в этом отношении был сделан в 1922 г. Луи де Бройлем выдвинувшим, подобно М. Планку, еще более смелое для современного ему естествознания предположение, что со всякой движущейся материальной корпускулой всегда связан некоторый волновой процесс, не допускающий строгой пространственной локализации.

Тем самым впервые со времен Декарта основные представления физики о веществе были связаны не с дискретно локализованными корпускулами, а с некоторыми непрерывно-протяженными волновыми полями. Сделать это вынудили физиков многочисленные неудачи создать на основе только дискретных, атомистических представлений о природе вещества количественную модель простейшей материальной системы — атома водорода. Последний сыграл, таким образом, в отношении вещества ту же роль, что и абсолютно черное тело для электромагнитного поля: оба они показали, что обычные и казавшиеся самоочевидными представления о дискретности вещества и непрерывности поля имеют только ограниченную область применимости и что в общем случае они должны быть заменены более точными и более адекватными понятиями.

Эти новые понятия дали созданные в начале 30-х годов нашего столетия фундаментальные физические теории — квантовая механика и квантовая теория поля, являющиеся исходной теоретической базой современных физических представлений о строении материи. Квантовая механика и квантовая теория поля вскрыли диалектическое единство и взаимный переход таких казалось бы взаимно исключающих характеристик движущейся материи, как дискретность и непрерывность, квантованность и континуальность. Глубинной основой этого своеобразного единства является, по-видимому, исключительно важная для современного анализа теорема двойственности характеров непрерывных и дискретных топологических групп Л. С. Понтрягина⁹. Эта теорема утверждает, что при выполнении определенных условий (которые мы не имеем здесь возможности разъяснить) множество непрерывных функций допускает отображение, как говорят математики, представление в множестве объектов совершенно другой, дискретной природы — в множестве дискретных групп. Причем, в определенных условиях непрерывная функция и ее дискретное представление оказываются совершенно эквивалентными друг другу: по второму удается однозначно восстановить первую и наоборот.

Таким образом, современная физика и математика показали единство и взаимный переход при определенных условиях таких казалось бы диаметрально противоположных фундаментальных онтологических понятий, как непрерывное и дискретное. Квантовая механика и квантовая теория поля обнаружили, так сказать, «онтологические» аспекты этого глубоко диалектического единства, доказали, что оно является всеобщей чертой материальных объектов исследованной нами части Вселенной. Квантовая механика утверждает, что любая частица вещества характеризуется некоторой непрерывной волновой функцией, отличной от нуля, вообще говоря, в любой точке пространства. И только определенные конкретные физические условия (энергии, скорости, массы и т. п.) позволяют локализовать частицы вещества в более ограниченных участках пространства, но никогда — в какой-то одной точке.

⁹ Л. С. Понтрягин. Непрерывные группы. М., 1954, стр. 242.

Аналогичным образом любое непрерывное силовое поле допускает «атомизацию», квантование — сопоставление с его определенными пространственными и частотными фурье-составляющими некоторых дискретных объектов — квантов данного поля. При этом процесс порождения поля зарядами или их движением представляется как процесс генерации квантов данного поля благодаря операторам рождения и уничтожения корпускул, которые появляются в основных уравнениях поля при их квантовании. И, например, обычное кулоновское притяжение или отталкивание электрических зарядов получает объяснение как результат испускания кванта электромагнитного поля — фотона — одним зарядом и его поглощения другим. Точно так же гравитационное притяжение тел можно истолковать как результат обмена квантами поля тяготения — гравитонами (хотя доказать существование последних экспериментально — дело будущего, так что эти корпускулы существуют пока что лишь на «кончике пера» физиков-теоретиков).

Итак, мы видим, что диалектика пронизывает собою все объекты современного учения о строении материи. Поразительное, неповторимое, диалектически противоречивое сочетание устойчивости масс, зарядов и спинов и изменчивости других параметров характеризует элементарные частицы — эти «последние кирпичи мироздания» наших дней. Любой отдельный вид этих частиц неразрывно связан со всеми другими корпускулами, «содержит» их «внутри себя» в виде виртуальных элементов структуры — в том числе и свою «полную противоположность» — свои античастицы. Разделение на корпускулы и пустоту относительно: физический вакуум — это особое, весьма своеобразное состояние материи, также неразрывно связанное с «раздвоением» на противоположности (виртуальное порождение частиц и античастиц в вакууме). Наличие особых, виртуальных процессов как «внутри» частиц, так и в вакууме означает также неотрывность материи от движения и наоборот. Диалектика, таким образом, «пропитывает» все основные понятия физики элементарных корпускул, в том числе и само понятие элементарности.

§ 2. Развитие важнейших понятий физики элементарных частиц

2.1. Основные направления исследований

Основные направления современных теоретических исследований в области физики элементарных частиц сложились еще к началу 60-х годов нашего столетия. Это, во-первых, направление абстрактной, аксиоматически развиваемой теории квантованных полей, исследующее математическую и логическую структуру существующих процедур квантования поля,—какие аксиомы надо положить в основу этих процедур, насколько эти аксиомы логически независимы друг от друга, какие следствия можно получить из этих аксиом строго математически и т. д.¹⁰ Вторую тенденцию можно назвать теоретико-групповой — она предпринимает попытки выявить новые свойства математической симметрии двух особенных, исследуемых только физикой элементарных частиц взаимодействий — сильного, ядерного, связанного с тяжелыми ядерными частицами — нуклонами и мезонными полями вокруг них,— и слабого, распадного, связанного с универсальной способностью многих частиц распадаться на более легкие плюс нейтрино или антинейтрино (при условии соблюдения определенных законов сохранения, разумеется)¹¹. Наконец, третий путь долгое время носил жаргонное название «реджистики» (по фамилии его «первооткрывателя» — итальянского профессора Т. Редже) и сейчас именуется методом комплексных угловых моментов¹². Он возник сначала как попытка обнаружить с помощью теории функций многих комплексных переменных некоторые, совершенно новые связи между поведением эффективных сечений рассеяния частиц и их способностью образовывать так называемые резонансы. Эти последние представляют собой открытые совсем недавно очень недолго (менее 10^{-23} сек.) живущие возбужденные состояния частиц и их комбина-

¹⁰ Р. Стритер, А. Вайтман. РСТ, спин и статистика и все такое. М., 1966.

¹¹ «Теория групп и элементарные частицы». М., 1967.

¹² П. Коллинз, Э. Сквайрс. Полюса Редже в физике частиц. М., 1971.

ций. Число этих частиц вместе со «старыми» — устойчивыми и более долго живущими (10^{-8} — 10^{-16} сек.) — элементарными частицами уже давно превысило число элементов Периодической системы Менделеева.

Здесь надо сказать, что многолетний опыт развития теоретической физики элементарных частиц с самого ее возникновения (с 1928—1934 гг. и особенно после 1945 г.) уже научил физиков-теоретиков да, пожалуй, и экспериментаторов скептически относиться к получаемым ими результатам. Строго говоря, к системам с переменным числом корпускул — а именно такова ситуация во всякой задаче физики элементарных частиц — обычные методы стандартной, «классической» квантовой механики неприменимы. Интуитивно это чувствовали уже и создатели квантовой теории поля, и некоторые из них, например П. Дирак, никогда не выходили за рамки квантовой электродинамики, в которой относительная слабость взаимодействия фотонов с заряженными корпускулами (соответствующая безразмерная постоянная связи электромагнитного поля с элементарным электрическим зарядом равна всего $1/137$) еще давала возможность получить более или менее удовлетворительные в логическом и математическом отношении результаты.

Такие же физики, как В. Гейзенберг, Р. Фейнман и другие прекрасно сознавали, что в физике элементарных частиц мы имеем перед собой объекты, к которым сложившиеся понятия «классической» квантовой механики применимы в очень ограниченной степени, и что для построения их адекватной теории прежде всего необходимы какие-то новые физические и математические понятия и методы. Именно эти соображения заставили В. Гейзенберга ввести фундаментальнейшее для современной физики понятие S-матрицы как оператора преобразования входящих частиц в уходящие, удовлетворяющего только весьма общим требованиям причинности, унитарности (сохранения общей суммы вероятностей) и т. п. Р. Фейнман также ввел новые физические и математические идеи, которые как раз более основательно учитывают изменчивость и взаимопревращаемость корпускул в физике элементарных частиц (в его теории позитронов, в теории континуального интегрирования по всем возможным траекториям микрообъектов и т. п.).

Абстрактное, аксиоматическое направление в теории элементарных частиц иногда называют также «асимптотической механикой», так как оно кладет в основу своих построений предположение, что все микрочастицы после любых, сколь угодно сложных взаимодействий «вплотную», на малых расстояниях, на больших расстояниях ведут себя как обычные квантовомеханические корпускулы. И уже из этих очень простых предположений плюс предположение микропричинности и сохранения равенства единице общей суммы вероятностей различных процессов (унитарность), оказывается, можно вывести наличие таких своеобразных свойств мира элементарных частиц, как, например, свойство, выявленное так называемой *CPT*-теоремой. Существо этой теоремы сводится к требованию инвариантности всех микропроцессов относительно проводимых одновременно операций замены частиц на античастицы (операция *C* — зарядовое сопряжение), изменения направления координатных осей (операция *P* — пространственная инверсия) и изменения направления времени (операция *T* — отражения временной оси).

Однако наибольшее значение с точки зрения поисков новых «сумасшедших» свойств тех еще более элементарных «сущностей», из которых состоят даже сами элементарные частицы, имеют, по-видимому, отрицательные результаты абстрактной теории поля, ибо эти результаты показывают, что даже рамки квантовой теории являются слишком узкими для построения общей теории элементарных корпускул. Свойства «праматериальной субстанции» элементарных частиц будут, вероятно, описываться с помощью еще более «экзотических» и необычных абстрактных пространств современной математики, чем бесконечномерное гильбертово пространство, с помощью которого находят свое разрешение такие квантовомеханические противоположности, как дуализм волна — частица, поле и вещество и т. п.

Поиски совершенно новых математических объектов для описания с их помощью качественно своеобразного поведения элементарных частиц еще только начинаются (алгебры фон Неймана, пучки таких алгебр над физическим пространством и т. п.). Но уже получен фундаментальный результат, означающий, что основное свойство микрокорпускул — их универсальную взаимопре-

ращаемость — нельзя сколько-нибудь удовлетворительно описать с помощью только квантовой механики и квантовой теории поля.

По-видимому, одним из основных результатов развития теоретической физики в последние годы является доказанная в рамках абстрактной теории поля так называемая теорема Хаага — ее значение для создания общей теории элементарных частиц, вероятно, вполне можно сравнить с доказательством в начале нашего века того факта, что законы классической механики и электродинамики несовместимы друг с другом в любой модели классически устойчивого атома¹³. Как известно, это доказательство явилось исходным пунктом формирования новой системы понятий квантовой теории — именно оно показало бесплодность и бесперспективность построения любых, сколь угодно «изошренных» классических моделей атома.

Теорема Хаага аналогичным образом доказывает невозможность построения в рамках современной квантовой теории адекватной теории взаимодействия частиц. Она устанавливает, что математические представления физических величин в теории, учитывающей взаимодействие, и в теории с выключенным взаимодействием относятся к различным, так называемым неэквивалентным представлениям. Переход между ними осуществляется только с помощью неунитарного (т. е. физически недопустимого) преобразования.

Появление неэквивалентных представлений связано с тем, что в физике больших энергий корпускулы могут генерировать новые, ранее не существовавшие частицы, когда общее их число становится неопределенным, переменным. Именно это последнее обстоятельство и является «причиной» появления различных, неэквивалентных представлений: достаточно зафиксировать общее число частиц каждого вида — и неэквивалентность исчезнет. Но тогда, как мы знаем, исчезнут и все взаимодействия — ведь в квантовой теории поля многие взаимодействия появляются как результат того, что одна из взаимодействующих корпускул порождает квант некоторого поля, тогда как другая поглощает его.

¹³ R. Haag. On Quantum Field Theory.—«Danske Mat.-Fys. Meddungen», 1955, v. 29, N 12, p. 55.

Теорема Хаага ставит нас, таким образом, перед необходимостью исследовать новые математические пространства,—если только мы хотим адекватно отразить в теории такие фундаментальнейшие черты объектов физики элементарных частиц, как их универсальная превращаемость и удивительное многообразие взаимодействий, которое они в состоянии испытывать друг с другом.

О теоретико-групповом методе исследования свойств симметрии элементарных частиц можно сказать, что он на современном этапе развития физики аналогичен Бальмеровскому способу систематизации свойств различных спектральных линий атомов. Но если Бальмер использовал в своих изысканиях простейшие алгебраические формулы, то Гелл-Ман, Неeman, Цвейг и другие создатели «восьмеричного» и прочих путей в современной классификации элементарных частиц не могут уже «считать» эти последние с помощью такого простого орудия, как обычные числа или алгебраические выражения. Объекты субмикромра можно «считать» уже только с помощью довольно необычных алгебраических структур — с помощью представлений некоторых абстрактных групп в группу матриц специального вида (унитарных, с определителем, равным 1, ранга 3—в случае наиболее популярной в настоящее время среди теоретиков группы $SU(3)$).

Мы не имеем здесь возможности объяснить подробно, что означают эти свойства симметрии микрокорпускул (да, возможно, это и не следует пока что делать из-за общей незаконченности, неустойчивости теоретических построений — пока, например, писались эти страницы, группа симметрии $SU(3)$ успела «выйти из моды», и ее место заняли другие группы.) Нам важно здесь принципиально подчеркнуть, что в настоящее время уже ищутся новые, весьма необычные свойства и качества «праматерии» элементарных частиц, которые должны заменить собой слишком «тривиальные» и «примитивные» черты ее поведения в предложенных ранее «единых» теориях элементарных корпускул Гейзенберга и Бома-Вижье и др.

Возможно, что такими новыми свойствами окажутся свойства симметрии «праматериальных» объектов относительно совершенно новых групп преобразований. Именно такое предположение выдвинул один из созда-

телей теории SU (3)-симметрии М. Гелл-Ман, высказывая свою гипотезу о том, что «праматерией» являются так называемые кварки — гипотетические корпускулы с дробным электрическим зарядом ($1/3e$ или $-2/3e$), из которых состоят все другие элементарные частицы.

Пока что экспериментальные поиски кварков не увенчались успехом, хотя в «охоте» на них участвовали крупнейшие экспериментаторы современности. Но общее направление поисков «сумасшедших» свойств «праматерии» в области свойств симметрии микрообъектов было выбрано Гелл-Маном, по всей вероятности, правильно. И рано или поздно эти поиски должны увенчаться успехом.

Исходный пункт третьего основного направления в современных теориях элементарных частиц составляет так называемый принцип микропричинности — специфически конкретизированный современной физической наукой общий принцип причинности материалистической диалектики. Он утверждает, что любые взаимодействия распространяются со скоростью, не превосходящей скорости света, и поэтому следствие не может наступить раньше появления причины: причинно-следственные отношения определяются пространственно-временной конфигурацией событий. В сущности говоря, принцип «микропричинности» — это общий принцип причинности, сформулированный с учетом требований теории относительности. Он требует, чтобы причинно-следственные сети отношений между материальными объектами были всегда обусловлены каким-то материальным носителем, — чтобы любые воздействия или взаимодействия переносились какими-то корпускулами, квантами какого-то силового поля. Это поле обязательно подчиняется определенным требованиям причинности, формулируемым на строгом и точном математическом языке с помощью условия коммутативности (перестановочности) квантовых операторов поля в различных точках пространства в разные моменты времени. Из принципа микропричинности следует, в частности, что рассеянную частицу можно обнаружить где-либо только после того, как она столкнется с рассеивателем. Математически это очень существенное для теории требование формулируется как требование равенства нулю амплитуды рассеяния вплоть до некоторого момента времени, выбираемого обычно за ноль — начало отсчета временной шкалы.

Теперь к амплитуде рассеяния применяется исключительно мощный и эффективный аппарат теории функции комплексного переменного. Преобразование Фурье амплитуды рассеяния как функции времени дает амплитуду рассеяния как функцию канонически сопряженной со временем величины — энергии. А тот факт, что первая величина равна нулю до момента времени, равного нулю, позволяет доказать фундаментальнейшее свойство амплитуды рассеяния как функции энергии — ее аналитичность, представимость в виде степенного ряда, а значит, по теореме Коши, — и в виде интеграла по некоторому контуру в комплексной плоскости. В конечном счете получается, что значение амплитуды рассеяния при некоторой определенной энергии должно равняться нулю, которому интегралу, учитывающему поведение сечения рассеяния как функций энергии падающих частиц.

Равенства такого типа и называют дисперсионными соотношениями. Их главная ценность состоит в том, что требование их выполнимости не опирается ни на какие сомнительные гипотезы. Дисперсионные соотношения — непосредственное следствие принципа причинности других столь же общих положений теории (типа релятивистской инвариантности — инвариантности относительно преобразований Лоренца и т. п.), которые должны сохраниться в той или иной форме во всякой будущей теории.

Дисперсионные соотношения могут быть написаны для рассеяния ряда частиц, и в некоторых случаях они являются достаточно надежным способом теоретического исследования таких, например, взаимодействий, как взаимодействие пи-мезон — нуклон и т. п. Таким образом благодаря определенной конкретизации в современной физической науке начинают непосредственно «работать» абстрактные философские положения.

Современное развитие теории дисперсионных соотношений в физике микрокорпускул — метод угловых комплексных переменных — кладет в основу своих построений представление, которое сейчас является скорее чисто математической гипотезой, чем физическим предположением, — представление о роли так называемых реджионов, частиц с комплексным значением собственного вращательного момента. Математическое преобразование, которое делает такое предположение возможным

было предложено еще в 1912—1917 гг. английским математиком Г. Ватсоном и немецким теоретиком А. Зоммерфельдом. Но только после работ Т. Редже оно было «онтологизировано» американским физиком Дж. Чью¹⁴ и его учениками С. Фраучи и М. Фрауссаром.

Они выдвинули гипотезу, что во всех сильных, ядерных взаимодействиях решающее значение имеет обмен одним только реджионом с определенными свойствами. Проверка следствий этой гипотезы не подтвердила ее в целом ряде важнейших случаев (например, для рассеяния пи-мезонов на нуклонах), что, к сожалению, поставило под сомнение и всю дальнейшую программу Чью по построению полной теории сильных взаимодействий на основе только весьма общих, можно сказать, «философских» предположений о свойствах сильно взаимодействующей «праматерии». А программа Чью содержала ряд интереснейших с точки зрения материалистической диалектики предположений, в частности, о так называемом механизме «бутстрапа» («зашнуровки») при детерминации масс, спинов и прочих свойств сильно взаимодействующих корпускул.

Чью вслед за Гелл-Маном считал, что ни одна из наблюдаемых элементарных частиц не является «более элементарной» чем другая, что все они в одинаковой мере являются «каплями», «осколками» «праматерии». В случае сильно взаимодействующих частиц это означает, что нельзя утверждать только, что, например, очень коротко живущий ро-мезон «состоит» из двух пи-мезонов (на которые он распадается в эксперименте). Но в равной степени и пи-мезон можно рассматривать как результат взаимодействия нескольких ро-мезонов и других корпускул. Метод комплексных угловых моментов (означающий возможность взаимодействия, передаваемого с помощью реджионов с комплексным вращательным моментом) позволяет рассчитать массы и спины вторичных частиц по массам и спинам первичных. И здесь-то вступает в игру «зашнуровывание»: одно добавочное предположение позволяет утверждать, что реджионы играют в сильных взаимодействиях роль «шнурка» — они «подгоняют» друг к другу, согласовывают

¹⁴ Дж. Чью. Аналитическая теория S-матрицы. М., 1968.

друг с другом значения масс и спинов, получаемые при самых различных способах «составленности» данных микрокорпускул из любых других частиц.

Перед нами — очень интересный пример учета и конкретизации в современной физике диалектико-материалистической идеи о всеобщей связи и взаимосвязи объектов, о всесторонней детерминации одних явлений материального мира другими.

Но, к сожалению, пока что эксперимент не полностью подтверждает эти очень интересные идеи о необычной, противоречивой и качественно весьма своеобразной природе «праматерии» элементарных корпускул.

2.2. Материалистическая диалектика о становлении новых научных понятий

В настоящее время известны две диаметрально противоположные точки зрения в отношении перспектив и времени создания общей теории субмикромира. Первая — «оптимистическая» — была высказана Н. Бором и состоит в том, что в ближайшие годы гениальная «сумасшедшая» идея будет найдена кем-то из молодежи, и тогда общая теория будет создана сразу же. Вторая — «пессимистическая» — была сформулирована Ф. Дайсоном. Согласно этой точке зрения, общая теория не будет создана, возможно, даже в течение целого следующего столетия — подобно тому как понадобилось несколько веков, прежде чем мы смогли перейти от макроскопической, классической механики Ньютона к более общей и глубокой квантовой механике Шредингера — Гейзенберга — Дирака. Нам сначала придется найти несколько все более и более обобщающих формулировок этой последней механики (совершенно аналогично тому, как Эйлер, Лагранж и Гамильтон последовательно обобщали механику Ньютона — Галилея), прежде чем будет выработана такая степень общности, которая на конец-то позволит адекватно сформулировать «сумасшедшую» идею (совершенно аналогично тому, что только Гамильтонова формулировка классической механики позволяет довольно легко перейти к механике квантовой, в то время как переход к последней сразу от механики времен Ньютона абсолютно невозможен).

В нашей философской литературе довольно часто эти точки зрения противопоставляются друг другу как «материалистическая» и «идеалистическая», причем выбор того или иного термина чаще всего определяется личными склонностями автора. Нам кажется, что главная задача состоит здесь в углубленном рассмотрении аргументации обеих сторон, в попытке найти какие-то рациональные, диалектико-материалистические моменты рассмотрения в каждой из них.

Обе точки зрения подчеркивают различные стороны, но одного и того же процесса — процесса создания нового, процесса творчества в науке. Только первая выдвигает на первый план то, что прежде всего бросается в глаза, когда речь идет о действительном научном творчестве, — необычность, революционность идеи, решительный отказ от старого способа мышления, старого способа «взвидения» мира. Вторая же точка зрения делает акцент на противоположной черте сложного, диалектически противоречивого процесса творчества в науке — формировании нового в рамках старого, на основе лучших достижений человеческого мышления, на основе теоретического осмысления производственной практики человечества.

Вот в этом-то последнем пункте материалистическая диалектика видит решающее звено формирования наиболее важных, наиболее глубоких понятий человеческого знания, и, возможно, именно серьезные размышления в связи с его содержанием позволяют найти какие-то опосредствующие звенья на пути создания будущей теории субмикроявлений. Рассмотрим в этом плане наиболее яркий пример научной догадки — идею Галуа о том, что для решения вопроса о разрешимости некоторого уравнения в радикалах необходимо рассмотреть его группу подстановок¹⁵. Обычно гениальность Галуа видят в том, что он только по внутреннему «наитию» ввел новое, фундаментальное для всей математики понятие группы как определенного множества преобразований, изучил некоторые структурные свойства простейших групп и применил их к решению основной проблемы алгебры того времени.

¹⁵ С. Ленг. Алгебра. М., 1968, стр. 219.

Все это правильно, за исключением первого пункта. Не по «наитию» или «гениальному озарению» ввел Галуа понятие группы. Ученые задолго до него, пытаясь найти формулу для корней уравнения четвертой степени и выше, придумывая самые хитрые способы замены переменных и подстановки неизвестных, начали работать с группой подстановок уравнений. Но очень долго, вплоть до Галуа, за хитроумными формулами подстановки не видели вещь гораздо более простую, но и фундаментальную — группу преобразований.

Галуа первый увидел ее, выделил ее основные характерные черты, изучил ее свойства в чистом виде и применил к решению казавшейся неразрешимой проблемы. Возможно, тем самым он дал наиболее показательный образец того, как рождается гениальная идея, как она «работает» и что она может дать в науке.

Итак, материалистическая диалектика позволяет указать истинный источник гениальных прозрений в науке — истинный источник формирования основных, наиболее общих понятий каждой науки, каждого раздела человеческого знания.

Проследим в этом плане в самых общих чертах историю образования наиболее фундаментальных математических и физических понятийных структур. Многовековая практика землемерия, астрономии, торговли, хозяйственной жизни уже на ранних стадиях развития человеческого общества позволила выявить прежде всего понятийные структуры так называемой элементарной математики — евклидову геометрию и совокупность целых, дробных, а впоследствии и иррациональных чисел. Зачатки самых различных систем счисления и те или иные геометрические сведения, трактуемые большей частью как чисто эмпирические рецепты, свойственны всякой более или менее выделившейся из животного мира человеческой цивилизации. Но только в классической Греции эти наглядно-эмпирические пространственные и количественные представления превратились в математические понятия: исключительно высокое теоретическое, философское развитие античной мысли позволило найти группы основных, «простейших» строительных «кирпичей» — понятий (точки, прямые, плоскости, целые числа и т. п.) любого классического математического объекта — из них строятся все математические объекты, а их

соотношение между собой описывается конечным числом не анализируемых далее в этой теории аксиом.

Эти арифметические и геометрические понятийные структуры отображают наиболее устойчивые, «математические» формы бытия окружающих нас предметов материального мира. Они «вобрали» в себя все то, что никак не может измениться под влиянием любых процессов «наглядного», «обыденного» характера — процессов классической физики. Они олицетворяют собой моменты «абсолютного», постоянного, неизменного на уровне простейших, механических форм движения материи, они являются структурами, «внутри» которых эти формы движения совершаются.

В принципе античная наука могла выявить и основные структуры — устойчивые, закономерные моменты — и соотношение, соподчинение между ними самого механического движения: простейшие физические структуры классической механики. Но относительно слабое, недостаточное развитие производственно-инженерной практики в ту эпоху не дало возможности сформировать основную понятийную структуру классической физики — понятие силы как чего-то объективного, от человека не зависящего. Поэтому до Галилея и Ньютона, до их определения силы через производные от координат движущихся тел, математические структуры евклидова пространства и действительных чисел никак не могли проникнуть вглубь, внутрь понятийного аппарата физической науки, а до тех пор пока они оставались только на ее периферии, физика никак не могла математизироваться и тем самым стать точной наукой.

Но вот производственная практика эпохи Возрождения, многочисленные артиллерийские, строительные, фортификационные и прочие работы тех лет позволили людям «набить» руку на движении по истинным, объективным структурам механики, а не по их сначала очень и очень субъективным отображениям (у греков античности — даже в виде представлений о силе как чисто мускульном ощущении человека). Пробил час первых теоретических открытий в физике, определенное «количество» инженерной практики человечества перешло в «качество» теоретических построений Галилея, Ньютона и других корифеев механики, вскрывших закономерности механической формы движения материи.

Математизация первого раздела классической физики — механики, — еще большее расширение на этой основе инженерной деятельности людей, которая в свою очередь ставила все новые и новые физические и математические задачи, дали исключительно мощный и плодотворный импульс развитию самой математики. В центр ее изысканий встали теперь понятийные структуры совсем иной природы, чем структуры евклидова пространства и действительных чисел. Структуры дифференциального и интегрального исчисления, теории дифференциальных уравнений и т. п., введенные первоначально как чисто подсобные средства решения проблем классической механики, подверглись в XVIII—XIX вв. тщательнейшему логическому анализу с целью выявления среди них новых «простейших» строительных кирпичей, из которых могло бы быть воздвигнуто все величественное здание новой, инфинитезимальной математики.

Структуры, которые легли в основу классической математики XVIII—XIX столетий, кажутся нам теперь, после создания и огромного практического успеха теории электромагнитного поля, почти столь же очевидными, что и структуры трехмерного евклидова пространства или действительных чисел. Но на самом деле переход от этих последних к структурам многомерных пространств векторной алгебры и векторного анализа, а также геометрии искривленных поверхностей и гиперповерхностей, являющихся решениями дифференциальных уравнений в этих пространствах, представляет собой итог поистине революционных преобразований основных, наиболее фундаментальных понятий классической математики. Эти преобразования произошли первоначально из попыток как-то теоретически осмыслить свойства «пространства» всех решений того или иного дифференциального уравнения (описывающего тот или иной механический процесс).

Так внутри механики, особенно механики жидких и газообразных тел, начали формироваться основные понятия будущей теории поля — понятие о многомерных векторных пространствах, сопоставляемых с каждой точкой обычного физического трехмерного пространства.

И здесь в XIX столетии — эпоху наиболее интенсивных исследований по физике поля — вновь в игру всту-

пила производственная практика процессов, использующих поле тех или иных изменяющихся характеристик движущейся материи: поле скоростей — в гидродинамике и опирающихся на последнюю областях техники и инженерного дела, поле тяготения — в разнообразнейших производственных процессах, использующих гравитационное поле Земли, поле температур — в теплотехнике, тепловой энергетике и т. п.

Каждый шаг в экспериментальном изучении самого электромагнитного поля вызывал к жизни какой-то совершенно новый раздел техники (гальванотехника, медицинская и бытовая электротехника, проводная связь и т. д.), каждый из которых все более интенсивно приучал людей «действовать руками» так, как будто они уже знали систему понятий теории электромагнитного поля. Так что познание электромагнитных явлений шло также прежде всего «руками», а головы даже таких титанов науки, как Фарадей и Максвелл, очень крепко держались за старые понятия и с большим трудом теоретически правильно осмысливали то, с чем давно практически освоились экспериментаторы, — что единственной реальностью является электромагнитное поле и что именно его закономерности имеют для физической науки первостепенное, определяющее значение.

2.3. Идея информационной емкости

Итак, совершенно новые и вместе с тем наиболее глубокие, фундаментальные идеи физики и математики вырастают, как правило, из практической деятельности людей, из практического опыта работы с новыми, еще не исследованными наукой до конца объектами. Что же можно сказать в этом плане о физике элементарных корпускул?

Нам кажется, что серьезного теоретического и философского осмысления требуют здесь прежде всего новые черты, все более явственно проступающие в последние годы в методике и организации эксперимента в области физики высоких энергий. Как известно, наиболее глубокое проникновение в тайны строения материи обеспечивают ускорители элементарных частиц, позволяющие в земных условиях концентрировать на микрокорпускулах совершенно космические количества энергии.

Поскольку развитие физики элементарных частиц зависит, таким образом, от работы нескольких, наиболее мощных из современных ускорителей, то время их функционирования стараются использовать с максимальной степенью эффективности. В этих целях для анализа траекторий частиц в регистрирующих устройствах все шире используют современные универсальные электронные счетные машины. По заранее разработанной экспериментаторами программе они в ничтожные доли секунды анализируют данные приборов о физических и геометрических характеристиках траекторий, определяют, какие частицы по этим траекториям движутся, каковы их энергии, времена жизни, продукты распада и т. д. Программа анализирует затем, относится ли данный случай к числу «интересных» — наблюдается ли рождение каких-то совершенно новых, ранее не известных науке частиц, или же наблюдаются необычные распады уже известных частиц — с другими продуктами распада, другими энергиями и т. п. Все такие необычные события электронная вычислительная машина тщательно анализирует, рассчитывает несколько возможных вариантов протекания процессов — и в доли секунды выдает соответствующие данные экспериментаторам.

Они же на основе своего опыта и практики принимают окончательное решение о том, как надо трактовать то или иное событие, но и на этом этапе они очень часто обращаются к огромнейшей «памяти» машины, чтобы получить от нее данные об аналогичных необычных взаимодействиях, которые уже наблюдались ранее, провести статистическое сравнение результатов и т. п. «Память» больших электронных машин может хранить совершенно необозримое количество данных эксперимента — в принципе — все данные о всех экспериментах данного типа.

Благодаря своему «электронному» быстрдействию машина может за приемлемые промежутки времени провести сравнение нескольких сот тысяч экспериментальных случаев и в течение нескольких часов собрать статистический материал об особенностях того или иного взаимодействия, который без нее несколько больших коллективов экспериментаторов не собрали бы и за несколько лет. Своеобразный рекорд установила группа экспериментаторов под руководством Линден-

баума в Брукхэвене: их установка за один час проанализировала и обработала статистически 5 миллионов экспериментальных событий рассеяния пи-мезонов и других частиц на нуклонах. Это составляет довольно внушительную часть всего экспериментального базиса развития «классической» ядерной физики вплоть до овладения атомной и термоядерной энергией.

А ведь, например, слабые взаимодействия, особенно процессы с участием двух различных видов — электронного и мю-мезонного — нейтрино, мы вообще, по-видимому, сможем изучить только после того, как окажемся в состоянии статистически анализировать в приемлемые промежутки времени как раз миллионы и даже миллиарды различных экспериментальных событий. То же можно сказать и об экспериментальной проверке введенных в современной теории элементарных частиц законов сохранения нуклонного (барионного) и лептонного зарядов. Скоро, возможно, новые элементарные частицы будут открываться комплексом: ускоритель + регистрирующие устройства + электронная счетная машина — без какого-либо непосредственного участия ученого-физика в процессе самого эксперимента. Конечно, такая перспектива означает коренную революцию в самом существе экспериментального метода — метода, восходящего еще к Леонардо да Винчи и Галилею, метода, которому физика обязана своими достижениями.

Но нас интересует здесь значение этой революции в существе экспериментального метода физической науки прежде всего для формирования новых фундаментальных ее понятий, в сжатом концентрированном виде отражающих практику работы человека с новыми объектами материального мира. Нам кажется, что углубляющееся внедрение кибернетических методов в физический эксперимент должно рано или поздно привести к пополнению также и основных понятий теоретической физики основными, наиболее важными понятиями кибернетики, такими, как информация, алгоритм, автомат и т. п. Возможно, что, повторяя рассмотренную ранее историю открытия групп, физики-экспериментаторы уже сейчас практически имеют дело с новыми концептуальными структурами. Но пройдет какое-то время, накопится какой-то опыт оперирования с ними и появятся совершенно новые, фундаментальные для теории эле-

ментарных корпускул кибернетические понятия, например понятие информационной емкости I абстрактного математического пространства, которое кладется в основу данной физической теории¹⁶. Грубо говоря, это — логарифм количества точек, которые можно поместить в некоторой единице его «объема» на некотором расстоянии друг от друга, — так чтобы они были ε -различимы. Если речь идет об отрезке $0,1$ действительной числовой прямой, то очевидно, что $I \sim \log \frac{1}{\varepsilon}$. Для n -мерного евклидова пространства получаем: $I \sim n \log \frac{1}{\varepsilon}$.

А. Н. Колмогоров подсчитал информационные емкости более общих пространств современной математики. Для «пространства» любых функций отрезка $0,1$ — произвольных отображений его в другой отрезок $0,1$ — получилось $I_1 \sim \frac{1}{\varepsilon}$ — различных (с точностью до ε) функций значительно больше, чем различных (с той же точностью) точек отрезка $0,1$. Решена и гораздо более сложная задача — А. Н. Колмогоров и его ученики рассчитали информационную емкость I_2 еще более абстрактного математического пространства — пространства функционалов (т. е. «пространства» всевозможных способов сопоставления с функциями отрезка $0,1$ некоторых чисел). Оказалось, что $I_2 \sim \exp \frac{1}{\varepsilon}$ (грубо говоря, различных функционалов — еще больше).

Состояние элементарных объектов классической физики (координаты и скорость материальной точки в механике, напряженность поля в теории поля) характеризуется точкой в некотором многомерном евклидовом пространстве. Все многообразие явлений классической физики и наших наглядных представлений связано, таким образом, с обычной евклидовой информационной емкостью элементарных объектов $I \sim n \log \frac{1}{\varepsilon}$.

Если мы идем в область микроявлений, то состояние элементарных объектов квантовой механики задается

¹⁶ А. Н. Колмогоров и В. М. Тихомиров. ε -энтропия и ε -емкость множеств в функциональных пространствах. — «Успехи математических наук», 1959, т. 14, вып. 2, стр. 3.

уже вектором «пространства» функций — гильбертова пространства. Следовательно, информационная емкость элементарных объектов претерпевает скачок по мере движения в глубь материи — для квантовых объектов она уже растет как $I_1 \sim \frac{1}{\epsilon}$. Наша гипотеза возрастания информационной емкости подтверждается тем, что если мы пойдем в область явлений субмикромра, то здесь состояние элементарных объектов нужно характеризовать уже с помощью функционалов. Это чувствовал уже Дирак, введший для локализации элементарных частиц свою знаменитую дельта-функцию, строго это доказал В. А. Фок еще в 30-х годах, и, наконец, абстрактная теория поля положила теорию функционалов в основу построения общей теории элементарных частиц.

Таким образом, движение объектов микромира качественно отличается от движения объектов макроскопического мира повседневных явлений тем, что оно совершается с участием элементарных объектов, способных аккумулировать — переносить и хранить — большее количество информации, чем макроскопические тела. Этой новой, квантовой информации настолько «много», что с точки зрения обычной, макроскопической, атомные объекты могут вести себя одновременно и как волны и как частицы — ведь эти последние понятия связаны только с евклидовыми информационными емкостями, ничтожно «малыми» по сравнению с квантовыми. (Квантовых информационных емкостей «хватает», грубо говоря, и на волны и на частицы.)

Качественное объяснение получает и обязательное вхождение статистики в результаты экспериментов с микрочастицами: детальное поведение последних определяется таким большим количеством информации, что макроприборы (всегда фиксирующие не более чем евклидово количество информации) просто не в состоянии «уловить» ее всю. И в поведении квантовых объектов неизбежно проявится некоторая статистически характеризующаяся неоднозначность.

Принцип неопределенности как раз дает условия, когда квантовое количество информации целиком «сводится» к классическому — когда квантовые объекты ведут себя целиком как классические. Если же величина действия в интересующем нас процессе не значительно

больше, а сравнима с планковским квантом, тогда состояние микрообъекта определяется уже квантовым количеством информации и для расчета его поведения надо уже применять волновое уравнение, некоммутативные операторы и т. п.

Мы привели здесь только чисто качественное изложение идей, которые на самом деле возникли как строго количественное применение формул, полученных А. Н. Колмогоровым и его учениками, к формулировке квантовой теории с помощью так называемых континуальных интегралов Фейнмана — Винера. Возможно, что эта последняя формулировка сыграет в дальнейшем развитии теории строения материи роль, аналогичную роли Гамильтоновой механики в эпоху создания квантовой теории.

Понятие информации, с которым мы имеем дело, является абсолютно объективным, отражающим объективную вероятностную структуру поведения физических объектов. Количество информации — это объективная мера богатства различных возможностей этого поведения. В этом смысле сама кибернетика как наука возникла только после того, как понятие информации было вполне объективировано — т. е. связано с различными возможностями поведения интересующих нас объектов.

И теперь, когда большие универсальные электронные вычислительные машины начинают непосредственно «сами» проводить тончайшие эксперименты с элементарными корпускулами, в них, разумеется, циркулирует отнюдь не субъективная информация программистов или еще кого-нибудь. Совершенно новая роль, которую начинают играть эти машины в физическом эксперименте, обязывает нас задуматься, не сталкиваемся ли мы здесь с неосознанным пока что теоретически формированием совершенно новых и весьма фундаментальных понятий типа рассмотренной здесь информационной емкости, которым в будущем, возможно, придется играть решающую роль в построении общей теории элементарных частиц.

2.4. Физика элементарных частиц и современная математика

В последние годы все мы стали свидетелями все более и более глубокого «погружения» физики элементарных частиц и высоких энергий в странный и необыч-

гические пространства, наделенные самыми различными свойствами сходимости их подмножеств — вплоть до совершенно патологических случаев типа упомянутых выше не вполне регулярных пространств, в которых нельзя найти ни одной окрестности данного множества, не содержащей данную точку. Информационные емкости различного рода топологических пространств были подсчитаны в неопубликованной работе М. Я. Перельмана, цитируемой А. А. Марковым¹⁷. Идея этого подсчета состоит в сущности в том, что любая топология данного множества определяется некоторой системой его подмножеств, а общее «число» последних растет экспоненциально с ростом «числа» элементов исходного множества. Тем самым удается показать, что и в случае общих, неметризуемых топологических пространств происходит экспоненциальный скачок информационной емкости при переходе от рассмотрения данного множества к рассмотрению всех возможных топологических пространств, которые можно на нем задать некоторыми системами его подмножеств.

Таким образом, работа М. Я. Перельмана позволяет перенести наши общие выводы предыдущего параграфа на случай неметризуемых топологических пространств — оказывается, что скачок информационной емкости при переходе от атомных корпускул к объектам мира элементарных частиц можно теоретически моделировать не только с помощью функциональных пространств, но и с помощью общих топологических пространств, вообще говоря не обязательно метризуемых. Этот последний вывод имеет принципиальное значение — дело в том, что пространство на уровне элементарных частиц как раз имеет, по-видимому, неметризуемую природу. Этот вывод напрашивается из уже упоминавшейся выше теоремы Хаага современной абстрактной теории поля и топологических теорем метризации.

Как известно, общие метризациионные теоремы Урысона — Бинга — Нагаты — Смирнова утверждают, что коль скоро в некотором множестве объектов произвольной природы удастся ввести метрику, т. е. более или менее напоминающую обычное «расстояние» характеристику «удаленности» двух объектов друг от друга, то

¹⁷ «Математика в СССР за 30 лет». М., 1948, стр. 199.

метрическая структура этого множества оказывается подобной метрической структуре гильбертова пространства¹⁸. Теорема же Хаага доказала, что последнее может служить математической базой описания одних лишь свободных, невзаимодействующих полей. Включение же взаимодействий между полями элементарных частиц должно неизбежно вести к выходу за пределы гильбертова пространства — к использованию в общей теории элементарных частиц абстрактных пространств более общей, неметризуемой, вообще говоря, природы.

Тем самым мы приходим в современной теоретической физике к постановке вопроса, к которой еще ранее пришла современная математика Бурбаки: исследовать в самом общем виде свойства пространства и структур, относительно которых не делается никаких «наглядных» или «очевидных» (метрика) предположений, а известно лишь то, что фиксировано в задающих их аксиомах и определениях. Надо сказать, что в настоящее время основное внимание ученых-математиков привлечено именно к подобного рода неметрическим разделам математической науки — таким, как теория групп и алгебр Ли, алгебраическая геометрия, коммутативная алгебра, общая теория категорий и функторов, топология расслоенных пространств, комплексные и аналитические пространства, теория пучков и т. п.

Общим для всех этих наиболее интенсивно развивающихся разделов современной математики — «переднего края» математической науки наших дней — является прежде всего то, что они изучают объекты огромной, экспоненциальной информационной емкости. Снятие «наглядных» и «очевидных» предположений типа метризуемости и пр. как раз и позволяет выйти за рамки классических объектов малой информационной емкости и исследовать самые общие математические пространства и объекты. Определенным подтверждением необходимости использовать в общей теории элементарных корпускул именно такого рода экспоненциально «емкие» математические пространства можно считать факт появления в микромире — на определенном энергетическом рубеже — новой большой группы свойств симмет-

¹⁸ С. Лефшец. Алгебраическая топология. М., 1949, стр. 60.

ри взаимодействий частиц друг с другом (изотопическая инвариантность, октетная симметрия и т. п.).

В любой теории, использующей объекты обычной информационной емкости, объяснить этот факт невозможно; как подчеркнуто в двух последних абзацах «Теории множеств» Бурбаки, классическая математика изучала только однозначные, изоморфные друг другу объекты — вещественную прямую, евклидово пространство и т. п., структуры которых однозначно соответствовали друг другу, почему появление новых структур в любых теориях, их использующих, было исключено с самого начала¹⁹. Только использование объектов современной математики, имеющих экспоненциальную информационную емкость и поэтому существенно не изоморфных друг другу и исследуемых такими неоднозначными теориями, как топология и теория групп, позволит объяснить как-то в будущем фундаментальный факт изменения свойств симметрии микрокорпускул в определенных узловых точках энергетической шкалы.

В плане чисто методологическом основное направление теоретических построений в физике элементарных частиц в последние годы можно определить как интенсивнейшие поиски элементарного объекта субатомной формы движения материи. Именно такова была конечная цель нелинейной спинорной теории Гейзенберга, теория «сакатонов» японских теоретиков, «реджионов» Чью и Фраучи, кварков Гелл-Мана, «тузов» Цвейга. Пока что все они закончились неудачей. Но когда такие элементарные объекты будут наконец-то найдены, то сказанное выше позволяет предсказать, что геометрически состояние их движения будет описываться уже не с помощью аналитической геометрии (как в классической механике или классической теории поля) и даже не с помощью геометрии гильбертова пространства (как в квантовой механике). Состояние движения элементарных объектов субмикромра и сверхвысоких энергий будет описываться уже с помощью современной «аналитической геометрии» объектов экспоненциальной информационной емкости — алгебраической топологии.

Если сравнить положение дел во времена Декарта и в нашу эпоху, то нельзя пройти мимо очевидных ана-

¹⁹ Н. Бурбаки. Теория множеств. М., 1965, стр. 398.

логий. Тогда и теперь было начато изучение геометрических пространств алгебраическими методами, только тогда геометрическими объектами исследования были обычные двумерные или трехмерные евклидовы пространства, теперь же — произвольные топологические пространства. Декарт указал своим координатным методом способ сопоставления интересующих нас объектов — прямых, кривых, плоскостей, поверхностей и т. п. — с алгебраическими уравнениями, современная алгебраическая топология сопоставляет исследуемые ею топологические пространства с некоторыми системами других, алгебраических объектов — с так называемыми группами гомологий и когомологий.

В обоих случаях сложные геометрические свойства первых объектов легко устанавливаются на основании более простых свойств сопоставляемых с ними алгебраических объектов. Нам кажется, что новейшие теоретические исследования Луиса Мишеля по расширениям группы Лоренца и Петера Федербуша по гомологиям диаграмм Фейнмана²⁰ как раз вплотную подходят к наделению физическим смыслом почти неисчерпаемого запаса самых необычных пространств, которые может предложить теории элементарных частиц современная алгебраическая топология.

Перечисленные выше работы убедительно показывают, что будущая теория субмикроскопических процессов вряд ли будет теорией некоторых уравнений — этот последний способ формулировки физических закономерностей безнадежно устарел в наше время: он способен отразить слишком малое количество информации. Будущая теория элементарных частиц будет представляться наделенной физическим смыслом алгебраической топологией (подобно тому, как постулаты квантовой механики составляют не что иное, как наделенные физическим смыслом постулаты теории гильбертовых пространств). И основную роль в этой теории будут играть не уравнения, а так называемые спектральные последовательности — определенные последовательности групп, которые характеризуют «устройство» (спектр) топологических пространств — то, по какому закону примыкают,

²⁰ Р. Хуа, В. Теплиц, Гомология и фейнмановские интегралы. М., 1969.

прилегают друг к другу все, самые разнообразные типы и разновидности их подмножеств.

Простейший вид спектра — евдоксов (архимедов), описывающий топологию числовой прямой, — не требует спектральной последовательности. Он характеризует «простоту» устройства действительной прямой (отсутствие в ней «пропусков», узлов, петель и т. п.) с помощью аксиомы Архимеда, открытой еще Евдоксом: каковы бы ни были два данных отрезка, меньший из них всегда можно повторить на большем конечное число раз так, что он будет превзойден по длине. На этом простейшем предположении о «спектре» прилегания друг к другу всех возможных подмножеств числовой прямой основан весь классический анализ — именно такое свойство ее спектра делает законными операции предельного перехода, дифференцирования, интегрирования, составления и решения дифференциальных уравнений и т. п. Вся классическая физика покоится на постулате Евдокса.

Элементарный пример пространства с довольно патологической топологией — так называемый континуум Вада. Он строится на плоскости следующим образом. На острове в океане пусть имеется источник (небольшое озеро) пресной воды. Объявляется следующая программа работ: в первый день прорывается такая система каналов, чтобы каждая точка на острове находилась не более чем на километр от соленой и пресной воды, в следующие полдня система каналов усложняется так, чтобы эти расстояния сократились до полукилометра и т. д. Можно показать, что при переходе к пределу к концу второго дня любая сколь угодно малая окрестность любой точки нашего острова будет содержать одновременно «точку» суши и пресной и соленой воды.

Ни один физик не будет отрицать, что полученный объект очень многим напоминает ему такую, скажем, вещь, как вакуум сильных, электромагнитных и слабых взаимодействий. Но, разумеется, спектр последнего значительно сложнее, доминирующую роль в нем играют прежде всего топологически нетривиальные петли виртуально рождающихся пар частиц и античастиц и т. п. Вот для учета и точной фиксации всех самых разнообразных способов примыкания друг к другу подобных, так или иначе выделенных подмножеств общих физико-

топологических пространств и служат спектральные последовательности. В принципе последние позволяют определить, на слои какого вида и типа расслаивается в каждом конкретном случае данное общее физико-топологическое пространство (напомним, что с точки зрения современной абстрактной теории поля самые различные нестабильные и устойчивые элементарные частицы описываются как раз с помощью различных слоев общих топологических расслоенных пространств)²¹.

Таковы в общих чертах некоторые методологические предсказания о путях развития теории элементарных частиц, которые можно сделать на основе онтологического осмысления категории информации.

§ 3. Неисчерпаемость материи вглубь и концептуально-математическая модернизация современной физики

3.1. Новая стадия развития физической науки

Физическая наука последних лет все более и более явно вступает в принципиально новую, качественно своеобразную фазу своего развития. Еще совсем недавно, какое-нибудь десятилетие — другое тому назад, основные задачи физиков-теоретиков казалось бы навсегда приняли довольно традиционный, стандартный характер: используя концептуальный базис теории относительности и квантовой механики, точно, количественно рассчитать (предсказать) тот или иной конкретный эффект, то или иное явление, наблюдаемое (или открываемое) физиками-экспериментаторами. Понятийные структуры, созданные еще в первые десятилетия нашего века М. Планком, А. Эйнштейном, Н. Бором, М. Борном, Э. Шредингером, В. Гейзенбергом, П. Дираком и другими, служили достаточно надежным фундаментом описания огромного количества опытных фактов.

Явлений, которые принципиально не могут быть объяснены в рамках основных понятий современной физики, вроде бы и не было видно. Они, конечно, существовали и тогда — и сами создатели основных понятий «лидера естествознания» не раз на них указывали (на-

²¹ R. Hermann. Vector Bundles in Mathematical Physics. N. Y., 1970.

пример, Н. Бор — на загадочное постоянство масс, зарядов и других характеристик элементарных частиц, М. Борн — на «таинственное число 137», обратная величина которого характеризует слабость связи электромагнитного поля с веществом). Но центр тяжести практической работы многих выдающихся физиков того времени на долгие годы сместился в сторону конкретных вычислительных задач.

Напрасно А. Эйнштейн называл все это «зоологией», «игрой в иксы», «вычислительством» и даже «самым совершенным способом водить себя за нос». 30-е, 40-е и 50-е годы нашего века прошли под знаком известного «самозамыкания» физики на свои внутренние, конкретно вычислительные вопросы. Ее контакты с другими науками — и особенно с математикой и философией постепенно слабели.

В таком именно состоянии физика опустилась в 60-е годы нашего века в самые загадочные глубины странного мира новых, очень недолго живущих элементарных частиц и их необычных, или очень сильных (ядерных) или очень слабых (распадных, электронно-нейтринных) взаимодействий. И сейчас прямо на наших глазах началось возрождение традиций «доброго старого времени» — «золотого века в развитии физики» — первых десятилетий нашего столетия. «Эннэлс оф физикс», «Джорнэл оф мэтимэтикл физикс», «Комьюни-кейшнс ин мэтимэтикл физикс» и им подобные новые журналы начинают поднимать математический уровень физической науки. К специальным книгам по физике пишутся философские предисловия (см. например, английский оригинал книги И. Бернштейна по алгебрам токов)²². Американское физическое общество ставит философские доклады на пленарные заседания, — чего не помнят даже самые старые его члены.

И тем не менее фундаментально новых идей в физике пока что нет — это уже несколько лет подряд констатируют такие авторитетные форумы специалистов, как (бывшие Рочестерские) конференции по высоким энергиям, собирающиеся каждые два года поочередно в США, Европе и СССР. Задача обновления и совершенствования понятийного аппарата современной физики оказалась очень трудной — как со стороны ее философ-

²² J. Bernstein. Elementary Particles and Their Currents. London, 1968.

ского осмысления, так, по-видимому, и со стороны ее «математического обеспечения».

Дело в том, что — и этому прежде всего учит опыт создания теории относительности и квантовой механики — философская революция в естествознании оказывается плодотворной только в том случае, если она позволяет выявить тот конкретный математический аппарат, с помощью которого можно сформулировать основные, наиболее глубокие закономерности новой области действительности. И наоборот: новые, революционные идеи математики могут оказать серьезнейшее воздействие на физику (как это случилось с понятием гильбертова пространства в квантовой механике или тензоров в теории относительности), только если абстрактным математическим структурам с помощью философского анализа придан некоторый операциональный смысл — только если определенный класс этих структур «онтологизируется», признается описывающим глубинные свойства некоторого фрагмента материальной действительности.

В настоящем параграфе мы хотели бы проанализировать в этом плане известную идею материалистической диалектики о неисчерпаемости материи вглубь — попытаться довести, продолжить ее до выявления тех конкретных математических структур, с помощью которых можно надеяться решить трудные вопросы дальнейшего развития современной физической науки.

Во второй половине прошлого столетия — сначала в заметках Ф. Энгельса о диалектическом понимании атомизма, затем в популярных книгах И. Дидгена эта идея, как известно, начинает пробивать себе дорогу и в диалектико-материалистической философии. Революция в естествознании начала нашего столетия позволяет В. И. Ленину выдвинуть ее на первый план в философской оценке сущности революции, происшедшей тогда в физической науке. Известное положение о том, что «электрон так же *неисчерпаем*, как и атом», признано ныне крупнейшими физиками современности как блестящий пример научного, прежде всего методологического предвидения²³.

²³ F. Dyson. Quantum Electrodynamics. — «Mathematical Reviews», 1955, v. 16, p. 431.

Но В. И. Ленин идет дальше. В «Философских тетрадах», в заметках, посвященных Лейбницу, мы находим следы упорной работы по углублению этого, в известном смысле эмпирического суждения до уровня общей закономерности строения и организации всего материального мира. Именно такое понимание принципа неисчерпаемости материи нам кажется наиболее соответствующим современному уровню развития физической науки — понимание его как принципа неисчерпаемости закономерностей движения «мельчайших» объектов материи, неисчерпаемости математических структур, которые описывают их наиболее фундаментальные свойства. Именно на этом пути удастся проследить очень интересные связи принципа неисчерпаемости с такими традиционно трудными проблемами философии, как апории Зенона и их решение в классической и современной физике. Мы считаем, что впервые идея неисчерпаемости была выдвинута в точном естествознании как раз при обсуждении возражений, которые, как известно, развивая далее и обосновывая мысли своего учителя Парменида о бытии, Зенон выдвинул в качестве аргумента против существования движения вообще. Мы будем обсуждать только две первые — самые важные и главные: дихотомию и Ахиллеса. Как вообще тело может двигаться, если для того, чтобы пройти какой-то отрезок, ему надо сначала пройти его половину, а для этого — сначала половину этой половины и так далее до бесконечности? И как быстроногий Ахиллес может догнать даже черепаху, если за то время, пока он пробегает разделяющее их расстояние, черепаха сдвинется в какое-то новое положение и так до бесконечности будет повторять исходную ситуацию? Проблема неисчерпаемости, как видим, поставлена относительно очень простых свойств пространства материальных объектов — свойств его делимости, — но поставлена именно диалектически.

Атомисты — Демокрит и его ученики — пробовали обобщить свои атомистически дискретные представления о неисчерпаемости с вещества, где эти представления великолепно «работали», и на пространство, где они встретились с огромными логическими и математическими трудностями, хотя, как эвристический прием, они и позволили Демокриту правильно угадать ряд важнейших математических формул, например формулу объема пирамиды.

Правильное решение дал ученик, и вместе с тем — идейный противник Платона, величайший математик древности Евдокс. Он в дополнение ко всем известным уже тогда аксиомам геометрии вывел из опыта — за что его и порицал Платон — еще одну, очень важную топологическую аксиому, носящую чаще всего обычно не его имя, а имя Архимеда, который первый строго доказал с ее помощью ряд важнейших математических формул, в том числе и упомянутую выше формулу Демокрита для объема пирамиды.

Значение аксиомы Евдокса — Архимеда в истории развития науки может быть сравнено только со значением идеи атомизма. На ней, в сущности, до сих пор основываются все применения математики в физике — особенно во всех процессах измерения — да и во всем естествознании в целом²⁴. Она опеределенным образом ограничивает неисчерпаемость свойств пространств классической физики. В своей качественной формулировке она проста и утверждает известную однородность, «равномерность» внутреннего «строения» числовой прямой: каждая малая часть некоторого ее отрезка «устроена» так же, как и весь он сам, и, откладывая ее на нем достаточное число раз, мы рано или поздно выйдем за его пределы. Это фундаментальное предположение об отсутствии «патологических особенностей» — «дырок», «пропусков» и многозначных разветвлений — на прямой до сих пор является основой, скажем, составления и интегрирования любых дифференциальных уравнений физики — как обыкновенных, так и в частных производных.

Но очевидным образом аксиома Евдокса — Архимеда резко и на долгие годы ограничила класс абстрактных математических пространств, которые можно было использовать в опытных науках для моделирования всего многообразия свойств материальной действительности.

3.2. Виртуальные процессы и неисчерпаемость связанных с ними структур

За прошедшие с начала века годы в современной физике изменилась сама постановка проблемы неисчерпаемости материи при движении нашего знания в глубь

²⁴ См.: Н. Бурбаки. Общая топология, вып. 2. М., 1959, стр. 109.

ее строения. Истекшие десятилетия радикальным образом преобразили все наши прежние взгляды не только на строение вещества, но, как уже говорилось выше, и на природу физического вакуума — той самой «пустоты небытия», относительно свойств которой Зенон сформулировал свои апории.

Ныне основные, наиболее глубокие и трудные проблемы неисчерпаемости свойств материи вглубь связаны как раз с новыми, глубоко противоречивыми чертами, которые характеризуют соотношение вакуума и вещества в современной теории элементарных процессов.

Для механических и электромагнитных движений — для всей совокупности явлений классической физики — апории Зенона были в свое время вполне строго и однозначно решены аксиомой Евдокса — Архимеда, аккумулирующей в себе огромное количество весьма и весьма существенной информации об этих движениях. С помощью основанных на этой аксиоме понятий бесконечных рядов, интегралов, бесконечно малых величин и мгновенной скорости классическая физика написала и проинтегрировала уравнения движения, доказав, что движение возможно, что Ахиллес перегонит черепаху — по той простой причине, что для «евдоксово» устроенных пространств сумма бесконечно длинного ряда пусть даже бесконечно малых величин может иметь конечную величину.

Для мира квантовых явлений апории Зенона воспроизводятся ныне уже как вопросы о том, насколько вообще возможно движение в мире, в котором происходит постоянное порождение и уничтожение так называемых виртуальных частиц, как могут быть конечны характеристики физических процессов, связанных неразрывно и нерасторжимо с «неисчислимым множеством» виртуальных процессов и состояний.

Рассмотрим в этом плане сначала спонтанное порождение виртуальных фотонов и электронно-позитронных пар. Эти последние обязаны своим возникновением, как известно, существенно новым — квантовым — свойствам всех важнейших количественных характеристик физических объектов — энергии, времени, координат, импульсов и т. д. в микромире.

Связывающие эти характеристики (точнее говоря, те из них, которые являются канонически сопряженными)

соотношения неопределенности Гейзенберга разрешают даже в абсолютной пустоте совместимое с другими законами сохранения (кроме сохранения энергии) порождение любых известных нам частиц,— но только на очень короткие промежутки времени и на очень малых расстояниях. Чем более тяжелыми являются соответствующие частицы, тем на более малых расстояниях они появляются и тем более короткое время они существуют. Именно поэтому на относительно больших расстояниях — больше одного ферми (10^{-13} см) начинается виртуальное порождение фотонов и относительно легких электронно-позитронных пар.

А порождение виртуальных мезонов и нуклон-антинуклонных пар начинается только на расстояниях долей ферми (10^{-14} — 10^{-15} см). Но вот здесь-то наша первоначально довольно наглядная картина виртуальных процессов очень быстро совсем запутывается: чем более малые расстояния и промежутки времени мы берем, тем более высокие энергии должны рассматриваться. А, как известно, при энергиях порядка всего в несколько сот миллионов электронвольт происходит уже энергичное «перепутывание» электромагнитных процессов (с участием только фотонов и электрических зарядов) с процессами сильных — ядерных взаимодействий (с участием поистине необозримого пока что числа новых частиц — различного рода мезонов, гиперонов, резонансов, нуклон-антинуклонных пар и т. п.).

Все предложенные до сих пор теории элементарных частиц являются, по существу, попытками как-то «расплести» это исключительно «хитрое» топологически переплетение самых разнообразных процессов сильных, электромагнитных, и слабых, распадных, взаимодействий (последние окончательно запутывают всю эту картину — они разрешают еще целый дополнительный класс процессов с участием совсем «мелких» частиц — электронного и мю-мезонного нейтрино и т. п.). Наглядно говоря, все современные теории элементарных частиц являются попытками выявить как-то основные «краски» и закон их «переплетения» в доставляемой экспериментами физики высоких энергий «карте» физического вакуума.

Пока что все эти попытки кончились неудачей — по нашему мнению, прежде всего потому, что основывались

на неявном предположении о том, что все физические процессы протекают в пространстве с обычной, тривиальной топологией. А такое предположение является абсолютно ни на чем не основанной экстраполяцией фактов макроскопического мира на область совершенно новых явлений.

Так что по существу говоря, для всей совокупности новых взаимодействий физики элементарных частиц апории Зенона снова воспроизводятся в современной науке с новой остротой даже для задачи одного тела, скажем, единственного протона: как возможно даже его индивидуальное движение, если он непрерывно превращается в совокупность гиперонов, пи-, ро-, эта-мезонов и других частиц, если рядом с ним происходит непрерывное виртуальное порождение протон-антипротонных пар, так что наш первоначальный протон в физическом вакууме просто теряется из виду.

Как уже говорилось выше, немало озадачены были физики и еще одной, существенно новой и качественно своеобразной стороной неисчерпаемости движения материи на очень малых расстояниях (так сказать, с «учетом» физического вакуума) — появлением на определенном энергетическом рубеже ранее никем не ожидавшихся новых свойств симметрии взаимодействий элементарных корпускул. Пока что все попытки вывести эти свойства симметрии взаимодействий из каких-либо теоретических соображений кончились неудачей. С нашей точки зрения, как уже было подчеркнуто, это весьма примечательно. Только структуры классической математики отличаются, как известно, однозначностью, полным изоморфизмом своих свойств (например, множество всех троек действительных чисел абсолютно равноценно во всех отношениях множеству всех точек трехмерного пространства).

Если, таким образом, ограничивать физику использованием в ней структур классической математики, сильные (и слабые) взаимодействия микрочастиц сразу же и притом ярчайшим образом продемонстрируют свою неисчерпаемость: все огромные успехи исследователей новых симметрий окажутся просто никак не вмещающимися в рамки математических пространств обычной информационной емкости.

Как быть? Что делать? Единственный путь, который можно рекомендовать,— введение в физику новых, гораздо более емких в информационном отношении пространств, необычные свойства которых только и могут передать неисчерпаемость (старыми математическими средствами) свойств странного мира микрокорпускул.

Однако опыт создания теории относительности и квантовой механики учит нас, что введение в обиход физической науки новых математических пространств неизбежно затрагивает не только ее чисто вспомогательные, вычислительные аспекты, но рано или поздно приводит также и к революционным преобразованиям всего ее понятийного аппарата, всего ее способа «видения» мира. Невозможность «исчерпать» свойства микромира с помощью структур классической математики сейчас уже достаточно хорошо осознана современной физикой: в ней в последние годы сформировалась целая научная дисциплина, специально занимающаяся исследованием математических средств, используемых при построении современных физических теорий микропроцессов. Это — кратко описанная выше абстрактная теория поля.

Ею, как известно, уже получен важнейший научный результат — теорема Хаага, утверждающая принципиальную невозможность корректного описания взаимодействий микрокорпускул в рамках использования только гильбертовых пространств. Если хотите, это — в известном смысле абсолютно строгое доказательство неисчерпаемости микромира даже в отношении математических средств квантовой механики. Но мы полагаем, что еще более интересны дальнейшие перспективы развития абстрактной теории поля. Ведь ее задача — полная математическая перестройка, радикальная математическая модернизация всей современной физической науки — и прежде всего — ее наиболее глубоких понятийных, концептуальных основ: самые радикальные, постигшие революционные преобразования всего нашего физического способа «видения» мира. Они будут связаны, по-видимому, с топологической модификацией и пополнением основных аксиом абстрактной теории поля, с модификацией и пополнением, учитывающими совершенно новые, топологически далеко не тривиальные свойства материи на уровне ее организации в виде элементарных частиц.

Пока что основные аксиомы абстрактной теории поля почти все являются всего лишь некоторыми ограничениями (причем в большинстве случаев далеко еще не ясно, насколько эти ограничения корректно и обобщенно сформулированы). А из одних ограничений новая фундаментальная физическая теория, как известно, еще никогда не выростала — для создания таковой всегда нужны были прежде всего какие-то совершенно новые, не тривиальные физические идеи. И Ньютон, и Максвелл, и де Бройль, и Гейзенберг, и Дирак шли именно по этому пути, а ведь физическое содержание многих аксиом абстрактной теории поля на самом деле очень бедно, если не совсем тривиально. Впечатление фундаментальной наукообразности создает только довольно современный математический аппарат, к разъяснению которого на «физическом» уровне строгости и сводится большая часть новейших исследований в этой области.

Рано или поздно физике придется искать какую-то обобщенно пространственную интерпретацию новых групповых свойств симметрии элементарных частиц, и, по нашему мнению, для таких объектов огромной, неисчерпаемой информационной емкости это возможно только на языке абстрактных схем Гротендика²⁵. Они выступают в современной математике некоторым аналогом общей теории абстрактных многомерных пространств математики прошлого века, сыгравших столь большую роль в построении основных физических теорий того времени.

И точно так же, как наглядная интуиция очень долго мешала физикам того времени представить и изучить в чистом виде, скажем, шестимерное фазовое пространство механики, так и в наше время надо будет довольно долго привыкать к несравненно более абстрактным и не наглядным «пространствам» схем Гротендика, «осваиваться» в работе с ними.

Если в обычных пространствах координатный метод Декарта позволяет сопоставить, например, с геометрической траекторией материальной точки некоторое уравнение, то в этих пространствах, вообще говоря, уже нельзя ввести никакое подобие координат — метод Декарта здесь уже не «работает».

²⁵ См.: Ю. И. Манин. Лекции по алгебраической геометрии. М., 1968.

Ситуация действительно тяжелая: координат нет, расстояний нет, надо искать какие-то их очень абстрактные, не наглядные заменители. «Отказывают», по-видимому, все наши самые основные физические понятия — понятия, которые мы впитали на самых первых уроках физики и которые с тех пор незримо присутствуют уже в любом нашем физическом умозаключении. Например, понятие «внутри» — его, по-видимому, просто нет в мире элементарных частиц: ведь оно существенно основано на обычной, классической топологии «вырезания» подмножеств из множеств, в то время как в микромире реально имеет место, как можно думать, совсем иная топология — топология Гротендика²⁶.

Понятие «внутри» также было фундаментально связано в физике до сих пор с понятием линейной зависимости, прямой пропорциональности, которое также со времени Галилея, Гука и Ньютона составляет довольно существенную часть того, что называют «духом» физики, физическим смыслом какого-то явления или соотношения. Их нельзя представить себе без прямой пропорциональности, линейной зависимости — это показывает, насколько глубоко присуще нашей интуиции это понятие.

И с ним также придется распрощаться в мире новых объектов огромной информационной емкости: его место займут так называемые точные последовательности — обобщения этой самой линейной зависимости на наш случай, а в более сложных ситуациях — еще и спектральные последовательности. Точную последовательность образуют, например, группа, ее подгруппа и ее фактор — группа по этой подгруппе. Современные попытки просто «умножить» группу Лоренца на новые группы симметрий сильных взаимодействий являются своеобразным современным аналогом поисков Галилеем условий, в которых характеристики движения тел являются простыми линейными функциями времени (которое ему приходилось измерять по ударам собственного сердца). Он и Ньютон нашли в конце концов, как известно, что причиной отклонений от линейности изменений со временем координат движущихся тел являются некоторые силы. Нам также еще предстоит искать и искать,

²⁶ M. Artin. Grothendieck Topologies. Harvard, 1962.

почему нельзя просто «перемножить» между собой группу Лоренца и новые унитарные группы симметрии (так называемая теорема Мак Глинна — Мишеля — О'Рэй-фертая)²⁷.

Этому мешают какие-то новые «силы», но они действуют и их закономерности можно сформулировать, по-видимому, только в достаточно емких информационно пространствах современной алгебраической геометрии — теории схем Гротендика, теории алгебраических и аналитических когерентных пучков над ними и т. п.

Сказанное позволяет предположить, что в самом ближайшем будущем топологические методы начнут определять дальнейшие пути развития современной физической науки и, в частности, даже такой, казалось бы, независимой, имеющей чисто аксиоматическое построение дисциплины, как абстрактная теория поля. Как было недавно показано, основные математические средства последней — обобщенные функции (распределения, дистрибуции) — являются не только определенными функционалами. Японский математик М. Сато доказал, что обобщенные функции представляют собой прежде всего некоторые группы относительных когомологий определенных пространств²⁸.

Поэтому есть все основания ожидать, что рано или поздно надо будет переформулировать всю современную абстрактную теорию поля с точки зрения какой-то новой, не тривиальной топологии. На этом пути, по нашему мнению, и произойдет очень важный для судеб дальнейшего развития физической науки процесс ее математической модернизации. Он затронет, вероятно, также и ее очень старые, фундаментальные, понятия (например, причинность) и позволит их выразить на точном, однозначном и недвусмысленном языке современной математики — так, чтобы они стали применимы к объектам огромной информационной емкости.

Понятие причинности в этом отношении, кажется, вплотную подошло уже в новейших работах по пучкам алгебр фон Неймана над физическим пространством к своей более или менее современной формулировке как

²⁷ L. Michel. Internal Symmetry and Relativistic Invariance.— «Physical Review», 1965, v. 137 B, p. 405.

²⁸ П. Шапура. Теория гиперфункций. М., 1972, стр. 63.

свойства когерентности определенных алгебраических и одновременно аналитических пучков. По-видимому, на этом пути можно будет ожидать «второго рождения» таких методов, как дисперсионные соотношения или комплексные угловые моменты, которые станут благодаря этой математической модернизации применимы к физическим объектам огромной информационной емкости.

Известный кризис в этих направлениях исследований в последние годы был обусловлен, по нашему мнению, тем немаловажным обстоятельством, что они формулируются пока что лишь в рамках традиционной физической схемы объектов обычной информационной емкости. А в то же время абстрактная теория поля или различные теоретико-групповые методы с самого начала строятся как теории объектов огромной информационной емкости — пусть неявно, не всегда осознанно или, во всяком случае, уж не сознательно. И поэтому, поскольку физика все более и более погружается в мир этих принципиально новых объектов, эти два направления в известном смысле «процветают» в последние годы.

Математическую базу модернизации методов дисперсионных соотношений и комплексных угловых моментов должны составить, по нашему мнению, новейшие методы теории функций многих комплексных переменных, основанные на понятии аналитического пространства, пучка ростков аналитических функций над этим пространством, когомологий последнего с коэффициентами в этом пучке, когерентности пучков при определенных глубоких связях свойств аналитичности амплитуд рассеяния с определенными теоретико-групповыми характеристиками новых симметрий элементарных частиц. Это удастся сделать благодаря общим теоремам соответствия Серра, которые устанавливают далеко идущие изоморфизмы теорий, изучающих «алгебраические» свойства объектов огромной информационной емкости и теорий, исследующих поведение связанных с этими объектами голоморфных и мероморфных функций многих комплексных переменных.

По всей вероятности, на этом пути окажется возможным установление новых и строгое доказательство старых свойств аналитичности амплитуд рассеяния,—

благодаря общим теоремам двойственности Серра — Гротендика, позволяющим по алгебраическим группам когомологий определенного ранга делать заключения о группах когомологий дополнительного ранга, вычисленным с помощью пучков аналитических функций. Огромное значение будет иметь здесь, вероятно, выявление Гротендиком²⁹ очень интересного когомологического смысла понятия вычета, играющего столь важную роль во всех физических теориях, использующих свойства аналитичности некоторых функций (таких, как общая теория дисперсионных соотношений, комплексные угловые моменты и т. п.).

3.3. Возможность различных топологий и теорий множеств в микромире

Методологические «уроки» развития квантовой механики и теории относительности позволяют прийти к определенным выводам о роли в развитии естествознания принципиальных, революционных открытий новейшей математики. Новые структуры бесконечномерного гильбертова пространства оказались способными достаточно адекватно и логически непротиворечиво выразить («исчерпать») собой глубокую диалектику атомных объектов. И только они и оказались для этого пригодными — все многочисленные попытки переформулировать квантовую механику без гильбертова пространства, как некоторый необычный тип движения материи в обычном евклидовом пространстве, оказались неудачными.

А ведь гильбертово пространство — одно из наиболее революционных открытий математической науки. Оно впервые продемонстрировало возможность и исключительную эффективность геометрического подхода к таким казалось бы очень далеким от геометрии объектам, как множество функций с интегрируемым квадратом, множество определенных матриц с бесконечным числом строк или столбцов и т. д. Неисчерпаемость свойств электрона оказалось возможным выразить строго математически только с помощью этих новых пространственных структур.

²⁹ R. Hartshorne. Residues and Duality. N. Y., 1966.

Аналогичную роль однозначной характеристики играло при создании теории относительности революционное открытие конца прошлого века — тензорный анализ. Без него формулировка основных понятий и задач фундамента современной физической науки — теории относительности — оказывается просто невозможной — именно общая постановка проблемы инвариантов в этом исчислении позволяет указать новые и единственно пригодные для этого «пространства возможностей», с помощью которых можно адекватно выразить неисчерпаемость свойств объектов, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, или в очень сильных гравитационных полях.

Среди важнейших открытий современной физической науки последних лет два могут привлекать внимание как раз с точки зрения выражения фундаментальных элементарных корпускул. Это — исследование семейства принципиально новых топологий пространства, проведенное П. Дж. Коэном³⁰ — предположение о том, что существует не одна единственная топология, а возможно много самых разных топологий, некоторые из которых могут быть реализованы в одних физических мирах, а в других — совсем нет.

Вопрос относительно реальной топологии пространства на очень малых расстояниях — вопрос относительно того, как выделяются, фиксируются, чем любые, сколь угодно малые подмножества данного множества. До самого недавнего времени физика знала всего лишь одну топологию — классическую, евклидову топологию евклидова пространства, в которой выделение определенного подмножества производится как бы его «вырезанием» из данного мира. А образование пересечения двух подмножеств производится последовательным проведением друг за другом двух операций вырезаний, соответствующих последовательному выделению таким способом каждого из исходных подмножеств в отдельности.

А. Гротендик предложил в начале 60-х годов XX века совершенно новую топологию. Он назвал ее «топологией взаимозаменяемости», так как она имеет в этом ранее известные свойства «двойственности» и «взаимозаменяемости» в определенных условиях.

³⁰ П. Дж. Коэн, Теория множеств и континуум-гипотеза. М., 1974.

никающих в результате этих взаимодействий, мощности счетной бесконечности и континуума будут непосредственно следовать друг за другом без каких-либо промежуточных «ступенек» бесконечности.

Основным стимулом развития Кантором общей теории множеств как раз была его гипотеза о том, что различные виды физических объектов (поле и вещество, тепловые и электромагнитные явления) могут иметь различные теоретико-множественные свойства, которые он надеялся положить в основу теоретического объяснения качественного своеобразия известных к тому времени разделов физики.

РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ФИЗИКИ И БИОЛОГИИ В НАШЕ ВРЕМЯ

§ 1. Молекулярная биология и материальное единство биологического и неорганического мира

1.1. Органическая атомистика: аминокислоты

Наиболее непосредственным свидетельством глубочайшего взаимодействия биологических и физических явлений является направление исследований, которое развивается последние годы и называется «молекулярной биологией»¹. Даже элементарных частиц молниеносными темпами роста этой очень молодой дисциплины.

Открытие и научное обоснование факта, что различные сочетания 20 аминокислот образующих длиннейшие цепи (до нескольких тысяч «звеньев» самых рацемических молекул), мы считаем важным шагом на пути дальнейшего развития органической атомистики, диалектико-материалистических представлений о строении материи. Развитие биологии в последние годы происходит вследствие плодотворности того разрешения проблемы устойчивости и изменчивости наблюдений, которое дает теоретическому естествознанию атомизма.

Как известно, живое, органическое состояние материи не в меньшей степени, чем элементарные частицы.

¹ Мы следуем здесь и далее книге: Дж. Уотсон. Молекулярная биология гена. М., 1967.

характеризует это глубочайшее внутреннее единство непрерывного движения всех живых объектов и столь же необходимого постоянства, стабильности их наиболее существенных характеристик в течение определенных промежутков времени. Столь продвинувшая вперед всю биологическую науку идея гена была ведь в методологическом плане определенное время чисто спекулятивной и даже — в какой-то части натурфилософской попыткой сколько-нибудь рациональным образом объяснить, разрешить это глубочайшее, составляющее сущность всего живого противоречие.

Действительно, в эпоху Г. Менделя и его продолжателей наука еще не имела в своем распоряжении экспериментальных средств изучения элементарных носителей жизни. И тем не менее основы современных представлений о строении живого были заложены уже тогда. Эпохальные достижения молекулярной биологии последних лет только конкретизировали общую картину, — так сказать, довели ее до биохимических «деталей» и сделали экспериментально обоснованной и проверяемой в опытах.

Идея атомизма при переходе в область живого не могла остаться неизменной, такой, какой она была в физической науке. Она стала в биологии идеей диалектически понимаемого атомизма. Ныне, разумеется, уже никто не собирается утверждать, что «атомы живого» — 20 различных типов аминокислот — нельзя разбить далее на составляющие их (химические) атомы углерода, водорода, кислорода, азота и серы. Это сделать можно, но, осуществляя это, мы сразу же, так сказать, автоматически покидаем уровень биологических явлений и попадаем в область химии — химии самых разнообразных атомно-молекулярных, но неорганических процессов. Совершенно аналогичным образом мы можем пойти и дальше — разбить и атомы углерода, водорода, кислорода и азота на составляющие их электроны, протоны и нейтроны (сконцентрировав на них достаточно большие количества энергии). Но тем самым мы столь же автоматически покинем уже и уровень организации материи в форме химических объектов и попадем теперь в область физики — физики элементарных частиц.

Интересно, что в связи с этой проблемой В. Вайскопф специально подчеркнул, что античные атомисты в суж-

дениях о неделимости атома были абсолютно правы, но только в области очень малых энергий, при концентрации на каждом атоме не более одного электронвольта. Тогда атомы выступают в качестве бесструктурных, замкнутых в себе сущностей. Аналогичным образом, обратил внимание Вайскопф, почти во всех биологических процессах 20 различных типов аминокислот можно представить как единые, не делимые далее «строительные кирпичи» живого, характеризующиеся только в целом такими параметрами, как энергии связи друг с другом и прочими химическими молекулами, уровни колебательных и вращательных состояний, ионизационные потенциалы перехода их электронов в свободное состояние.

Для «органического» функционирования «живых» белковых молекул принципиальное значение имеют не индивидуальные свойства составляющих их атомов углерода, водорода, кислорода, азота (и серы), а только вполне определенные интегральные характеристики их аминокислотных компонентов, через призму которых должны обязательно «преломиться» все индивидуальные особенности данного атома, если эти особенности имеют какое-то биологическое значение. Здесь встает вопрос о том, насколько уникальными являются физико-химические свойства именно аминокислотных комплексов, всякая ли форма жизни должна обязательно состоять только из них. Или же в принципе возможно создание комплексов с подобными же свойствами, но на базе других химических элементов (например, кремния, фосфора и т. д.), так что в космосе мы можем встретить живые существа не только аминокислотной природы?

Современное состояние квантовомеханической теоретической химии не дает пока возможностей серьезным, доказательно математическим образом исследовать данный вопрос. Достигнутый на базе квантовой теории синтез химии и физики носит в этом именно плане все еще довольно частный, неполный характер и может дать серьезное теоретическое объяснение только свойствам простейших, неорганических молекул. Расчет же физико-химических характеристик более сложных, органических молекул станет возможным, на наш взгляд, только на основе существенно новых тополого-алгебраических методов. Большой интерес представил бы анализ

найденных к настоящему времени квантовомеханических решений простейших химических проблем с точки зрения фейнмановской, траекторной формулировки квантовой механики и особенно теории абстрактных схем Гротендика. Уже решенные сегодня задачи окажутся тогда, вероятно, простейшими типами структур определенных топологических пространств, более сложные характеристики которых, как можно полагать, и будут соответствовать физико-химическим константам интересующих нас аминокислотных блоков и образуемых ими гигантских белковых молекул.

Итак, одной из самых важных задач станет, по-видимому, объяснение факта, что все известные нам формы жизни «выстроены» из 20 различных типов аминокислот — объяснение того, почему именно данные химические конфигурации атомов оказались на Земле для этого наиболее удобными. В задачи науки войдет также и теоретическое, математически доказательное выяснение того, возможны ли вообще другие наборы такого же рода атомных конфигураций, которые могли бы построить из себя нечто, аналогичное известным нам явлениям жизни — каковы конкретные условия возникновения такой «не аминокислотной» органики и почему она не смогла возникнуть (или давно исчезла) на нашей планете. Вопросы эти до сих пор интересовали, в основном, к сожалению, только авторов научно-фантастических романов, с созданием же общих оснований физики и биологии мы сможем получить на них аргументированный научный ответ.

Серьезного, теоретического объяснения требует, на наш взгляд, и открытие внутри каждой органической клетки (и расшифровка его определяющего значения в отношении белковых молекул) нового информационного уровня специальных спиралеобразных полинуклеотидных структур, которые содержат в себе «описание» всех тех белков, которые когда-либо могут понадобиться данному организму в процессе его жизнедеятельности.

Таким образом, при переходе в мир биологических объектов простая, «одноуровневая», «вещественная» атомистика физики и химии существенно обогащается и приобретает более развернутую, дифференцированную форму: известные ныне структуры органического мира, сказывается, связаны, по крайней мере, с двумя корре-

лированными друг с другом уровнями атомистической организации.

Один из них — описанный кратко выше «вещественный» уровень скрученных аминокислотных цепочек — белков как действительных материальных носителей известных сегодня явлений жизни. Другой же уровень имеет более тонкую, информационную, потенциальную природу — он содержит особым образом закодированное дискретное описание всех возможных «будущих» состояний этого «вещественного» белкового уровня. Это — уровень возможного, так сказать, потенциального будущего: он кодирует своими нуклеотидными структурами точные «чертежи» — последовательности аминокислот — во всех тех конкретных белках, которые когда-либо может изготовить определенный организм (и которые полностью определяют всю совокупность его возможных реакций на самые различные внешние воздействия — начиная с вторжения «чужих» микробов или вирусов и кончая механическими повреждениями). При этом второй, информационный уровень органических структур также имеет, оказывается, ярко выраженную атомистическую природу — нуклеиновые кислоты животных и растений также «выстроены» как спиралеобразно закрученные линейные последовательности стандартных «строительных» блоков.

В качестве таких «атомов кодирования» биогенетической информации выступают 4 различных типа особых химических соединений — нуклеотидов. Они отличаются друг от друга входящими в их состав «боковыми» группами: азотистыми основаниями — аденин, гуанин, цитозин и урацил — в случае рибонуклеиновой кислоты (РНК), являющейся «рабочим чертежом» сборки каждой новой белковой молекулы. В случае же дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), являющейся генетической «библиотекой», хранилищем «эталонных» описаний всех белков, которые может изготовить данный организм, место урацила занимает тимин.

Однако, почему же вообще живое обязательно связано, по крайней мере, с двумя уровнями структурной организации? Чем обусловлено это фундаментальнейшее свойство органического мира? Затем встают еще более трудные проблемы происхождения жизни: если возникновение «живых» белковых молекул еще как-то

можно было надеяться объяснить с помощью случайных сочетаний аминокислотных блоков в Мировом океане за многие миллионы лет его сложной и многоплановой эволюции, то как быть теперь, с добавлением целого нового уровня нуклеиновых кислот? Ясно, что одновременное случайное возникновение сразу двух уровней биологической организации практически невозможно, и надо ставить вопрос о постепенном, эволюционном формировании другого уровня — при наличии одного, уже существовавшего и возникшего совершенно случайно. Но кто были первыми — белки или нуклеиновые кислоты? Или же их «одноуровневая», чисто «вещественная» смесь, которая только потом, многие миллионы лет спустя, «разделилась» на белковый — вещественно-энергетический уровень и уровень нуклеотидов — чисто информационный?

Здесь мы снова приходим к тем же труднейшим теоретическим проблемам, о которых уже шла речь выше при обсуждении «вещественного», белкового уровня органической атомистики. В самом деле, почему именно данные нуклеотидные группы являются материальными носителями информации о любой потенциально возможной будущей «биохимической» деятельности данного организма? Что особенное содержится в данных типах атомных конфигураций, что природа избрала именно их для материального воплощения второго, информационного уровня атомистики живого? И содержится ли это особенное также и в других конфигурациях атомов, — так что возможно существование жизни с принципиально иной, отличной от нуклеотидной, основой наследственности? Или же другие химические соединения обладают только «зачатками», только слабыми «проблесками» этой удивительной способности нуклеиновых кислот сколь угодно долго и надежно хранить жизненно важную для организма информацию?

Квантовая теоретическая химия не может в настоящее время дать доказательные ответы на эти вопросы. Для расчета и предсказания свойств атомных конфигураций такой степени сложности ей необходимо пополнить теоретический и вычислительный арсенал новыми идеями и методами, специально приспособленными для конкретного, доведенного «до чисел» рассмотрения многоатомных химических соединений. Нам кажется, что

наиболее вероятное направление поисков таких идей и подходов — интерпретация решений квантовомеханических задач многих тел с помощью особо регулярных и обладающих определенной симметрией структур в новых математических пространствах Гротендика. А методологическое, философское осмысление таких возможностей позволит, вероятно, заложить позднее серьезный теоретический базис для установления глубокого внутреннего единства «механизмов устойчивости» всех наиболее часто встречающихся в природе типов организации материи — как в виде элементарных частиц в физике, так и аминокислотных и нуклеотидных блоков — в биологии.

1.2. Надмолекулярные уровни организации живого

Открытие и расшифровка единого биогенетического кода сделали в последние годы возможным переход к следующему большому этапу молекулярно-биологических исследований. Он заключается в объяснении и теоретическом «вычислении» существования живого в форме микроскопических, функционально замкнутых в себе единиц — клеток. Современная теоретическая ситуация в молекулярной биологии напоминает ситуацию в физике элементарных частиц. Наиболее трудными для объяснения оказываются бросающиеся в глаза качественные особенности каждого из этих «срезов» материальной действительности. В частности встает вопрос, почему все богатство живого связано с различными наборами почти идентичных между собой органических клеток различных тканей биологических объектов?

Теперь, почти полтора века спустя после открытия М. Шлейдена и Т. Шванна, мы, кажется, приближаемся к возможности его теоретического объяснения. Клетка с современной точки зрения — это наименьшая функциональная единица в организации живого, способная к самостоятельному и устойчивому воспроизведению себя как единого целого. Ни огромные белковые молекулы, ни длиннейшие цепи нуклеиновых кислот не могут сами по себе, взятые отдельно, образовать структуру, способную к независимому самовоспроизведению. Таким свойством обладают только их достаточно сложно интегрированные комплексы — органические клетки. В послед-

ние годы, благодаря бурному развитию молекулярной биологии, открывается возможность теоретического «расчета» простейшей самовоспроизводящейся органической системы такого рода.

Для подобного самовоспроизведения необходимо самое малое 20 белковых ферментов, с помощью которых «изготавливаются» стандартные аминокислотные строительные «блоки» всех белков. В действительности их, по-видимому, раза в 2—3 больше — из-за того, что соответствующие химические реакции в живой клетке протекают только при участии последовательно двух-трех белковых ферментов (плюс белки-полимеразы, обеспечивающие соединение аминокислот в длинные полимерные цепочки «живых» белковых молекул). Столь же необходимы несколько различных типов специфических белков — ферментов, «изготавливающих» заранее стандартные «строительные информационные блоки» нуклеотидов и совершенно другие белки — полимеразы, «собирающие» эти белки в двойные спирали «эталонных» ДНК, одноцепочные спирали матричных «рабочих» РНК и т. д.

Для приведения всего этого механизма самовоспроизведения в реальное движение необходимы молекулярные системы снабжения химической энергией. Это осуществляется, по мнению специалистов, только при наличии по крайней мере 8 различных белковых ферментов и некоторых других органических соединений, а также при регулярном и устойчивом их синтезе с помощью белков — катализаторов. Наконец, для того, чтобы внешние силы не могли постоянно мешать всем этим очень тонким микромолекулярным процессам и превращать их в свою беззащитную игрушку, столь же необходима мембрана, отделяющая механизм самовоспроизведения от внешнего мира. Следовательно, необходимы также еще и белки — ферменты, с помощью которых такая мембрана строится.

В общей сложности, гипотетическая минимальная органическая система, способная к самовоспроизведению в неживой среде, должна иметь по крайней мере 50—100 различных типов белковых молекул с молекулярным весом в несколько десятков, а то и сотен тысяч каждая, расположенных в некотором объеме так, чтобы соответствующие биохимические реакции не «мешали»

друг другу. Получается, таким образом, что все эти белки и кодирующие их нуклеиновые кислоты должны помещаться в капельке водно-солевого раствора диаметром в 500 ангстрем (1 ангстрем — 10^{-7} мм; для сравнения укажем, что атом водорода имеет диаметр порядка ангстрема, аминокислотные и нуклеотидные блоки — линейные размеры порядка десятков ангстрем, а органические макромолекулы — порядка сотен ангстрем).

Очень интересно, что самые маленькие из открытых в настоящее время клеток, способных самостоятельно расти в неживой природной среде, — так называемые микробы из группы микоплазм, — имеют размеры, всего лишь в 2 раза превышающие диаметр нашей расчетной минимальной — белково-нуклеотидной системы, способной к самостоятельному воспроизведению. Они, однако, в 10 раз мельче средней бактерии, в 100 раз меньше тканевой клетки млекопитающего и в 1000 раз меньше такого простейшего, как амеба (опять же для сравнения укажем, что человек состоит из $5 \cdot 10^{12}$ тканевых клеток, теснейшим образом друг с другом связанных).

Таким образом, большинство живых клеток имеет линейные геометрические размеры, на несколько порядков превышающие те, которые минимально необходимы для размещения в них всех механизмов самовоспроизведения. И сейчас молекулярная биология основной своей задачей ставит подробное изучение всех деталей тонкой биохимической «архитектуры» различных клеток. Часть этих «деталей» имеет эволюционно-генетическое происхождение, и уже сейчас мы начинаем понимать конкретные особенности и главные этапы их формирования. Однако наиболее фундаментальные проблемы физико-химического объяснения основных молекулярных механизмов функционирования клетки — все еще впереди. Ведь даже у наиболее хорошо изученных клеток типа кишечной палочки мы в настоящее время не знаем еще и половины всех биохимических реакций, которые в них протекают. Исследование каждой такой реакции занимает иногда несколько лет напряженнейшей работы большого коллектива ученых; по оценкам специалистов, до конца нашего века достаточно полное динамическое (биохимическое) описание даже простейшей живой клетки вряд ли будет получено.

Но и после всестороннего исследования всех наличных биохимических реакций в клетках теоретическая биология отнюдь не исчерпает себя. Как раз наоборот: именно тогда только и можно будет поставить задачу генетического, эволюционно-исторического объяснения и теоретического «вывода» основных путей развития специализированных структур живой клетки. Так, например, сейчас мы почти ничего не знаем о биохимических реакциях, которые протекают на поверхности и внутри имеющихся в каждой клетке в количестве десятков тысяч сферических частиц диаметром в 200 ангстрем — рибосом, являющихся клеточными «конвейерами» по сборке всех белковых молекул. Несколько больше, но тоже еще слишком мало мы знаем о конкретных деталях функционирования «силовых станций» клетки — нескольких сот митохондрий, имеющихся в каждой клетке. Так же мало мы знаем о хлоропластах, являющихся мембранными «аккумуляторами» солнечной энергии для живого мира.

Лишь несколько лет тому назад мы начали понимать, что каждая клетка обладает собственными «химическими фабриками» для производства специальных химических соединений, имеющих жизненно важное значение для нее самой, других клеток и тканей, а нередко — и всего организма: загадочные в течение многих лет клеточные структуры так называемых телец Гольджи оказались «цехами» окончательного синтеза и «упаковки» таких «фабрик». Также очень недавно было установлено, что все, по крайней мере, животные клетки содержат еще и особые органеллы — лизосомы, функции которых аналогичны пищеварительной системе: их крошечные мешочки содержат каплю активного пищеварительного сока, способного расщеплять на более простые составляющие большинство сложных органических соединений живой материи и ферментативно настолько сильно действующего, что клетка в любой момент может совершить даже «самоубийство», — разорвав тонкие мембраны, отделяющие лизосомы от основной клеточной структуры. (Такое «самоубийство» клеток, кстати говоря, выступает очень часто как необходимый элемент развития на ранних этапах эмбриогенеза, например, у цыплят или головастиков.)

Дальнейшее совершенствование экспериментальной техники в ближайшие годы может, по-видимому, выявить еще и другие, более узко специализированные структурные элементы клеток. Однако на пути теоретического и даже экспериментального исследования биохимических «подробностей» функционирования таких специализированных клеточных структур и органелл встала очень трудная проблема — познание аллостерической природы действия белковых и других сложных органических молекул, — сильной зависимости биохимических свойств всех таких молекул от их точной трехмерной пространственной конфигурации. Последняя может сильно меняться от присоединения к определенным их участкам других атомных групп или от уменьшения концентрации в окружающем данную молекулу пространстве некоторых сортов ионов.

Полученные недавно первые пространственные изображения «живых» белковых молекул (гемоглобина, лизоцима и т. д.) показывают, что в «активном» рабочем состоянии они представляют собой сложнейшие трехмерные переплетения многократно спирализированных и головоломно закрученных аминокислотных цепочек. Причем исключительная эффективность белковых ферментов как катализаторов почти всех жизненно важных для организма биохимических реакций определяется как раз их трехмерной конфигурацией: в некоторых случаях фермент «одевается» на нужные молекулы почти так же, как перчатка на пальцы, и зачастую только такое точное фиксирование на его поверхности сразу нескольких молекул обеспечивает быстрое и эффективное протекание той или иной жизненно необходимой биохимической реакции.

Существенная аллостеричность почти всех биологически важных молекулярных процессов ставит, таким образом, уже сейчас вопрос о существовании в каждой живой клетке между уровнем ее специализированных структур и органелл (рибосомы, митохондрии и т. д.) и уровнем белковых и полинуклеотидных молекул еще одного очень важного уровня организации живого — уровня элементарных биологических взаимодействий. Жизнь как сложное динамическое самообновление органических молекул приобретает действительное бытие только благодаря этим элементарным биологическим взаимо-

влияниям, вследствие которых, например, даже изменение концентрации ионов в окружающей среде может резко изменить пространственную конфигурацию белковой молекулы и сделать ее способной к синтезу новых веществ. Мы не говорим уже о тех случаях, когда такие молекулы присоединяют в определенных ключевых точках специфические атомные группы. Тогда меняется существенным образом степень их «заузленности» и «закрученности», и тем самым делаются доступными для внешних агентов новые участки их структуры. На этих участках становится возможным, например, аккумулятивное больше запасов химической энергии.

Всестороннее экспериментальное и теоретическое исследование такого «первого надмолекулярного» уровня организации живого — уровня элементарных биологических взаимодействий, определяющих конкретные аллостерические «механизмы» функционирования молекул почти всех специализированных структур клетки — рибосом, митохондрий, хлоропластов и т. д., — основная задача молекулярной биологии наших дней. Мы сталкиваемся здесь, однако, с весьма трудной задачей. Речь идет о точном учете взаимного влияния и перекрестной детерминации дискретного, «блочного» способа хранения основной массы биологически важной информации и непрерывного «гормонального» способа ее считывания и функционирования в большинстве специализированных клеточных органелл.

Пока что все эти запутаннейшие взаимные детерминации и перекрестные влияния мы начинаем понимать только на уровне качественных представлений об аллостерических изменениях свойств почти всех сложных органических молекул. Простейший пример такого рода — прекращение синтеза определенных белков ферментами клеток при понижении концентрации в ее протоплазме, например, ионов магния ниже определенного предела. Более сложные примеры — внезапное «включение» механизмов очень «своевременного» синтеза новых и очень необходимых организму белков при раневом повреждении его ткани, и столь же своевременное «выключение» этих механизмов тогда, когда заживление раны закончилось.

Здесь, как можно думать, мы сталкиваемся с очень большой и трудной общепрограммной методологиче-

ской проблемой. А при каких условиях органические молекулы перестают быть субмикроскопическими частицами и становятся факторами наблюдаемого невооруженным глазом формообразования новых биологических структур? Когда органические молекулы перестают быть молекулами и превращаются в структуры, формирующие макрохарактеристики живых объектов? Ответ на это может быть дан после того, как мы научимся точными математическими методами описывать аллостерические закономерности биохимического функционирования большинства органических молекул. Необходимо расшифровать в некотором абстрактном топологическом пространстве тот «язык» различных типов «закрученности» и «заузленности», с помощью которого линейная генетическая информация «запускает» изготовление нужных именно в данный момент веществ, «массовое производство» которых организмом уже и ведет к макроскопическому формированию его новых структур.

В наиболее «очищенном» от других привходящих процессов виде такие превращения элементарных биологических взаимодействий органических молекул в определяющие факторы макроскопического формообразования наблюдаются, вероятно, только в эмбриогенезе, краткое рассмотрение которого с молекулярно-биологической точки зрения представляется поэтому совершенно необходимым.

1.3. Эмбриогенез с точки зрения молекулярной биологии

Очень тонкая и поразительно скоординированная в пространстве и времени последовательность процессов, в результате которых из одной единственной оплодотворенной яйцеклетки развивается сложнейший многоклеточный организм, в течение многих веков, со времени самого зарождения научной биологии, рассматривалась как одно из самых замечательных явлений природы². Эмбриогенез включает появление в строго определенные периоды развития организма зачатков совершенно новых структур, их постепенное и прогрессивное усложнение

² Дж. Иберт. Взаимодействующие системы в развитии. М., 1968, стр. 9. Мы следуем далее этой книге.

и дифференцировку, приобретение ими весьма специфических собственных свойств.

Следует сказать, что эмбриогенез противоречит далеким от биологии основаниям классической, ньютоновской механики и Больцмановой статистической физики. С их точки зрения, его просто не должно быть. Только квантовая физика, благодаря принципу дополнительности, соотношению неопределенности и вероятностной трактовке наблюдаемых разрешает, делает возможным существование процессов, подобных эмбриогенезу. Но она не выводит необходимость существования этих процессов из каких-то более общих теоретических принципов, не объясняет на основе этих принципов основные закономерности таких процессов, а лишь допускает их возможность как загадочных квантовых корреляций в особым образом, сложно организованных системах.

В этом плане поиски новых общих принципов и методов единого теоретического описания объектов физики, химии и биологии должны будут в своем дальнейшем развитии доставить нам новые теоретические средства объяснения основных закономерностей зародышевого развития органических объектов.

В последние годы, в связи с успехами молекулярной биологии, физико-химический уровень исследований эмбриогенеза приобретает все более теоретический, объясняющий характер. В соответствии с идеями Ф. Жакоба и Ж. Моно, детали и «тонкости» зародышевого развития организмов связаны с последовательным включением и исключением в каждой клетке в определенные моменты времени генетических механизмов синтеза только совершенно определенных белков. Информационный уровень органической атомистики — ДНК содержит в себе, как известно, описание всех белков, которые когда-либо может изготовить данный организм. Но большую часть времени подавляющая часть «кусков» ДНК, на каждом из которых закодирована последовательность аминокислот данного конкретного белка (большинство «оперонов» в терминологии Жакоба и Моно), находятся в «выключенном» состоянии. Конкретные молекулярные механизмы этого «выключения» во всех случаях и до конца еще не исследованы. Скорее всего они обусловлены связыванием ДНК в ядре клетки с особыми белками — гистонами. В образующейся аллостериче-

ской макромолекуле для внешних воздействий оказываются открытыми только те небольшие участки ДНК — только те структурные гены оперона, — которые содержат описания белков, необходимых клетке в данный момент. Большая же часть ДНК совершенно закрыта от внешнего мира аллостерическими конфигурациями гистонов. Они, однако, очень «чутко» реагируют на малейшие изменения химических условий в клетке и мгновенно активируют нужный оперон ДНК, открывая его для внешнего мира, как только клетке понадобится закодированный на нем белок.

Эти представления позволяют объяснить многие, казавшиеся до сих пор совершенно загадочными особенности эмбрионального развития. Так, самую основу эмбриогенеза — клеточную дифференцировку, постепенное возникновение и последующий рост клеток самых различных типов (нервные, мышечные и т. д.) — мы связываем ныне с постепенным и большей частью необратимым включением в различных клетках лишь оперонов совершенно определенного рода. Например, нервная клетка в окружении себе подобных никогда не сможет изменить аллостерическую конфигурацию своих нуклеогистоновых молекул. Это делает невозможным копирование такой клеткой «кусков» РНК, с помощью которых ее рибосомы изготовили бы, например, белки типа миозина или актина, характерные только для клеток мышц. В нормальных условиях, в окружении таких же, как и она, любая органическая клетка определенного типа производит, таким образом, только свои специфические белки.

Столь характерные для эмбрионального развития сложные и многообразные межтканевые взаимодействия клеток получают объяснение благодаря довольно сильному «протеканию» клеток в определенные периоды их развития, — тем большему, чем меньше имеется их число. Пока клеток определенного типа очень мало, они через свою поверхность соприкосновения с другими тканями выводят в эти последние в некоторые моменты довольно большую часть синтезируемых в них специфических веществ (белков, в первую очередь, но, возможно, и более простых органических и даже неорганических соединений). И именно эти специфические соединения соседних тканей так меняют в данной группе клеток алло-

стерические структуры нуклеогистонов, что с них оказывается возможным «считывание» новых «порций» ДНК с записанными на них точными инструкциями по изготовлению новых белков. Именно таким образом, вероятно, клетки мозга амфибий, например, формируются только при условии постоянного физико-химического контакта с ними особых мезодермальных головных клеток: при любом прерывании такого контакта формирование мозга сразу же прекращается. Более того, если эти мезодермальные головные клетки пересадить в боковую поверхность другого зародыша, то и на новом месте они способны индуцировать образование из окружающих тканей новых мозговых клеток, степень развития которых тесно коррелирована с темпами их собственного развития.

Итак, на новом месте, среди других клеток, специфические вещества, синтезируемые специализирующимися тканями, способны «включать» в нуклеогистогах других клеток новые опероны. Они никогда не были бы включены в процессе нормального развития в данном, новом организме. Молекулярная биология, следовательно, успешно справилась с теоретически очень трудной, остававшейся загадкой целые десятилетия проблемой объяснения ведущей роли определенных совокупностей клеток как организаторов эмбрионального развития на определенных его этапах. Ведь еще со времени классических опытов Г. Шпемана и Г. Мангольда 1924 г. известно, что пересадка так называемой спинной губы зародыша амфибии на стадии его развития в виде гастрюлы другому зародышу на той же стадии эмбриогенеза может индуцировать весьма широкий спектр стимулированных изменений,— начиная с формирования второй нервной трубки и кончая образованием в области трансплантата нового зародыша.

Аллостерические изменения пространственной конфигурации нуклеогистонов аналогичным образом объясняют и другой факт. Речь идет о том, что хирургическое удаление у растущей конечности в курином зародыше небольшого крестообразного утолщения — апикальной эктодермальной шапочки — сразу же приостанавливает всякий дальнейший рост этой конечности. Точно так же, вероятно, специфические химические соединения, синтезируемые клетками переднего мозга, диффундируя в клетки эктодермы головной области зародыша тритона,

аллостерически включают в нуклеогистонах этих клеток такие опероны, которые соответствуют т-РНК, кодирующей белки, участвующие в синтезе и функционировании в них тех особых белков, которые необходимы только для различных тканей глаза.

Ибо всякое нарушение контакта, формирующимся хрусталиком и остальными тканями, сразу тормозит окончательное формирование хрусталика в полноценный орган. При этом эмбриогенетические влияния тканей должны носить и взаимно регулирующий характер. Так, например, бокал крупного, быстро растущего вида инкубировали эктодермой более мелкого и медленного вида. В конце концов, в итоге эмбрионального развития возникал правильный гармонически пропорциональный (по размеру) глаз промежуточного размера.

Особенно сильны такие взаимно регулирующие влияния между нервными клетками и клетками эпителиальной ткани. Так, если у двухдневного куриного эмбриона удалить почку растущей конечности, то буквально в течение нескольких последующих часов почти полностью исчезают нервные ганглии, предназначенные для иннервации будущей (но теперь ампутированной) конечности. Они разлагаются и удаляются макрофагами. И наоборот, если денервировать конечности хвостатой амфибии денервацией, то прорастающие в нее уже на 2-й или 3-й день после ампутации (среди других раневых тканей) немногочисленные нервные волокна, регенерация сразу же прекращается и вместо новой конечности образуется лишь рубцевая раневая рубец. Интересно при этом, что существенное значение имеет только общее число нервных волокон в регенерируемых тканях: если денервировать только чувствительные нервы, которых в норме всегда больше, чем двигательных, то последние начинают усиленно ветвиться, и общее их число настолько возрастает, что уже они одни оказываются способными поддерживать и «организовывать» регенерацию отрезанной конечности.

Молекулярно-биологическая трактовка явлений эмбриогенеза открывает, таким образом, возможность для основательного и многостороннего объяснения частных деталей соответствующих явлений, если только мы сможем дать ответ на один вопрос: а как органические молекулы так хорошо «узнают» друг друга, точнее говоря, каким образом они со столь большой точностью произ-

водят «измерения» различных состояний взаимодействующих с ними молекулярных комплексов, что соответствующие биохимические реакции идут только в одном определенном направлении и совершенно не идут в других направлениях? Скажем, нуклеогистоны растущих нервных клеток определенную последовательность своего аллостерического скручивания или раскручивания, обуславливающего собой синтез все новых специфических белков нервной ткани, приобретают только при наличии каких-то молекул, синтезируемых в почке растущей конечности. Каков механизм «узнавания» соответствующими молекулами друг друга? Или другая проблема: нуклеогистоны регенерируемых клеток в раневых тканях ампутированной конечности у той же хвостатой амфибии способны включать все новые опероны — группы команд по изготовлению все новых белков; но только до тех пор и пока в этих тканях имеется достаточная концентрация каких-то весьма специфических молекул, синтезируемых только в нервных клетках. Каким, однако, образом молекулы нуклеогистонов «узнают» эти молекулы?

Аллостеричность свойств нуклеогистонов здесь, конечно, может многое объяснить сама по себе: некоторые из таких специфических, активирующих молекул могут, вероятно, играть роль дополнительных, так сказать, контрольных «ключей», одновременное наличие которых в тех или иных углублениях или даже «пазах» трехмерной белковой конфигурации только и может разрешить протекание соответствующей биохимической реакции по считыванию нового оперона и т. п. Подобными объяснениями мы все-таки не решаем проблему до конца — она, в сущности, во многом только переносится на уровень органических молекул, на уровень их квантовомеханических свойств.

§ 2. Общая теория систем:

Л. фон Бергаланфи и другие

2.1. Пионеры поисков теоретического синтеза физики и биологии

Центральное положение молекулярной биологии среди современного комплекса наук о живом может создать превратное представление о том, будто появление новых обобщающих идей в естествознании наших дней

происходит только благодаря внедрению физико-химических методов в молекулярно-биологические исследования. Между тем это далеко не так. В настоящее время в современной науке кроме молекулярной биологии существует несколько различных направлений, которые стараются отыскать какие-то иные теоретические подходы к установлению контактов биологии и так называемых точных — физико-математических и химических — научных дисциплин.

И некоторые из теоретических идей, выработанных этими другими направлениями синтеза биологии и точных наук, на наш взгляд, уже сейчас заслуживают самого пристального внимания. По нашему мнению, именно они — при условии их дальнейшей более глубокой разработки и обобщения — вполне могут стать существенными компонентами общих теоретических оснований, необходимых для построения и физики, и химии, и биологии как одной, целостной, синтетической научной дисциплины.

Первым таким интересным и перспективным примером поисков каких-то новых, более глубоких теоретических концепций, на базе которых можно будет осуществить нетривиальный синтез наук физико-математических и наук биологических, нам представляется общая теория систем Людвига фон Берталанфи и его последователей³. Сам он начинал научные исследования (в 20-е годы нашего века) как биолог-экспериментатор. Но скоро он убедился, что строгий и точный эксперимент в таких областях науки о живом, как исследование метаболизма (обмена веществ) и роста организмов часто становится просто невозможным, если с самого начала не осмыслено теоретически коренное отличие организмов как открытых систем от традиционных объектов исследования физики и химии — закрытых систем.

Поэтому первый вариант «общей теории систем» Л. фон Берталанфи был, в сущности говоря, просто попыткой распространить обычную физическую теорию (термодинамику, физическую кинетику и т. п.) на такие живые открытые системы. Каждая открытая система имеет определенные оптимальные значения характеристических параметров и способна возвращаться самыми различ-

³ «Исследования по общей теории систем». М., 1969.

ными путями в основное «эквифинальное» состояние — благодаря тому, что интенсивность соответствующих процессов обмена веществом, энергией и информацией, стремящихся восстановить эквифинальное состояние, в таких системах всегда пропорциональна степени отклонения характеристических параметров от их оптимальных значений.

Благодаря этому последнему свойству открытые системы приобретают возможности «квазицеленаправленного» поведения, своего рода зачатков «телеологичности», — и при достаточно большом числе изменяющихся взаимовлияющих характеристик их реакции на внешние возмущающие воздействия вполне могут произвести впечатление детерминированных некоторыми конкретными «целями». Теория открытых систем довольно успешно объяснила многие метаболические процессы в живой материи, — например, поддержание устойчивой концентрации ионов и сложных органических молекул в крови, лимфе и других внутренних средах организма, регуляцию фотосинтетических реакций в растениях, механизмы развития лучевой болезни в радиационной биологии и т. д. Однако уже в самом начале 30-х годов Л. фон Бергаланфи осознал, что «открытость» взаимодействий и взаимобмена живых существ энергией, веществом и информацией с внешним миром — лишь только одно из их отличительных качеств как системных объектов. При этом оно выступает на первый план только в том случае, если мы полностью отвлекаемся, абстрагируемся от других, не менее существенных характеристик живого, таких, например, как наличие в каждом организме нескольких, очень различных уровней структурной организации объектов и самых различных способов взаимной детерминации и взаимовлияния таких уровней друг на друга.

Поэтому после выхода в свет в 1932 г. первого тома его «Теоретической биологии» Л. фон Бергаланфи резко расширяет сферу своих научных интересов и основное свое внимание посвящает построению «общей теории систем» — уже не только «открытых», а вообще всех других, в чем-либо отличных от классических «несистемных», по его мнению, объектов исследования традиционных «точных» наук — механики и физики. Первая задача здесь — четко выделить и собрать воедино все те

характерные черты, которые отличают «системные объекты» от несистемных во всех науках — начиная с биологии и кончая экономикой, лингвистикой, искусствоведением. При ее решении Л. фон Берталанфи несколько неосторожно переступил, к сожалению, тот критический рубеж научной строгости и точности, который отделяет естественный и закономерный процесс обобщения и углубления новых научных понятий от их ничем не оправданного расширения и даже сознательного «смазывания» всяких границ их применимости.

Наука не приобретает ничего нового, если каждый объект ее исследований вдруг начинает именоваться системой (или элементом), причем указать объекты, которые не являлись бы при таком рассмотрении системами (или элементами), оказывается зачастую просто невозможным. Такой путь ничем не ограничиваемого расширения конкретных научных понятий, когда они, в сущности говоря, начинают подменять собой тысячелетиями разрабатывавшиеся, действительно наиболее общие понятия человеческого познания — философские категории, — такой путь ничего хорошего общей теории систем принести не мог. И действительно, первые ее изложения в обобщенном варианте — перед научной общественностью (например, в лекциях Л. фон Берталанфи на семинаре Чарльза Морриса в Чикагском университете в 1937—1938 гг.) встретили, по его собственному признанию, довольно прохладный прием.

Сам Берталанфи относит это все целиком за счет неподходящего интеллектуального климата, господствовавшего в науке в те годы, — подавляющего засилия позитивизма с его подчеркнутой неприязнью к широким обобщающим теоретическим концепциям и т. п. Довольно большая доля истины в этом, несомненно, есть. Однако это не должно закрывать от нас вместе с тем и действительные методологические недостатки развития общей теории систем: слишком широкие, вмещающие почти любое сочетание объектов Вселенной определения, отсутствие достаточно строгих и точных экспликаций таких основополагающих для этой теории понятий, как целостность, взаимодействие, связи, уровни и прочие характеристические особенности системных объектов, отличающие их от «несистемных».

Так, фон Берталанфи хотел бы все свести в системных объектах к «сильным взаимодействиям между собой всего исследуемого комплекса элементов», М. Месарович — к «отображению входов и состояний объекта в его выходах», Р. Фейджин и А. Холл — к «множеству элементов с отношениями между ними и между их атрибутами», У. Росс Эшби — к «чему-то такому, что может изменяться с течением времени», к «любой совокупности переменных,... свойственных реальной машине», С. Бир — к «взаимосвязи самых различных элементов», ко «всему, состоящему из связанных друг с другом частей». Советские исследователи В. А. Лекторский и В. Н. Садовский еще в 1960 г. критиковали эти и подобные им определения понятия системы за их описательный, нечеткий характер⁴.

Некоторые высказывания Берталанфи 40-х и 50-х годов допускают именно такую интерпретацию, хотя в более поздних публикациях он утверждает, что подобное истолкование его идей было бы результатом неправильного понимания и недоразумения, соглашаясь, однако, с другими критическими замечаниями В. А. Лекторского и В. Н. Садовского об отсутствии пока что у «общей теории систем» достаточно строго и четко определенного собственного понятийного аппарата, адекватного именно ее и только ее области исследований. Взятые, так сказать, «напрокат» у других научных дисциплин методы изучения систем с помощью, например, понятий качественной теории дифференциальных уравнений (сам Берталанфи и подавляющее большинство специалистов по «искусственным» электрическим и механическим «системам») были явно слишком «узкими» для систем живых, самоорганизующихся и эволюционирующих. С другой стороны, трактовка систем как «черных ящиков», преобразующих некоторые состояния на их входе в какие-то другие состояния на их выходе (М. Месарович, У. Эшби и другие), была слишком широкой, так как включала в себя, кроме биологических, также и почти все традиционные объекты классической механики и физики и в этом смысле не давала ничего нового, представляя собой лишь предельно абстрагированную основу по-

⁴ В. А. Лекторский, В. Н. Садовский. О принципах исследования систем. — «Вопросы философии», 1960, № 8, стр. 67.

строения любой дедуктивной научной теории, лишенной, однако, какого-либо специфического, достаточно конкретного — характерного только для «системных» объектов предметного содержания.

Определенный сдвиг — и, мы считаем, в правильном направлении — наметился здесь только в самые последние годы⁵. Способ характеристики системных объектов (в их отличии от несистемных) с помощью выявления различных топологий, объективно имеющих место на различных уровнях организации их элементов, на наш взгляд, адекватно «улавливает» специфику «общей теории систем», так что ниже мы будем следовать преимущественно этой точке зрения.

2.2. Целостность системных объектов

В качестве главной, определяющей черты, характеризующей специфику объектов общей теории систем в их отличии от обычных физических тел, например, подавляющее большинство исследователей выдвигают на первый план их особую целостность, внутреннюю замкнутость — определяемость их основных свойств в значительной степени всем объектом во всей его полноте, а не только его отдельными составляющими элементами. Эта «организующая» роль целого в отношении своих «системообразующих» компонентов может даже быть весьма сильной. Простое, механическое выделение элементов в таких системных объектах может привести к тому, что исследователь получит другой компонент, чем тот, который он намеревался изучать. Еще Аристотель по этому поводу образно указывал, что рука, отделенная физически от тела человека, — это уже не рука.

Главенствующая роль целого в отношении составляющих его элементов может идти в биологии еще дальше. Известно, что у некоторых видов пресмыкающихся, например у ящериц, механическое удаление некоторых органов вызывает такую сильную реакцию всего организма в целом, что на месте удаленного органа вырастает почти точная, иногда, правда, несколько уменьшенная его копия. Эти факты были давно известны, и их

⁵ Дж. Корнакио. Топологическая структура общесистемных математических моделей. — «Системные исследования». М., 1973, стр. 173.

можно считать опытным доказательством существенного отличия механических, аддитивных систем, в которых основные характеристики мало или почти ничем не отличаются от суммы соответствующих характеристик компонентов, от систем органических, целостных, в которых определяющие характеристики содержат нечто существенно новое, никогда не находившееся в каждом из составляющих органическую систему элементов в отдельности.

Методы, допускающие построение математических моделей и их последующую экспериментальную проверку, начали применяться к исследованию целостности органических объектов лишь во втором десятилетии XX века. Это стали делать две различные дисциплины — квантовая теоретическая химия и гештальт-психология. Загадочная целостность восприятия внешнего мира человеком (и животными) была открыта М. Вертхаймером сначала эмпирически и затем подверглась обстоятельнейшему теоретическому и экспериментальному изучению, в ходе которого было исследовано до 114 наборов стандартных психологических структур (своего рода штампов — «гештальтов» восприятия), с помощью которых человек организует в своей психике сигналы о внешнем мире в нечто целостное, неразрывно между собой связанное.

Интересные в теоретическом плане идеи В. Кёлера о существовании в нервных клетках организмов особого «сенсорного поля», ответственного именно за возникновение целостности восприятия, сопровождались построением довольно тонких нейронных моделей как «штампов» физико-химического взаимодействия соответствующих сигналов и попытками экспериментального обнаружения «полевых» структур таких взаимодействий в коре головного мозга — с целью их непосредственного опытного исследования. Однако, к сожалению, единственным серьезным научным понятием поля, известным в те годы, было представление об электромагнитном поле классической физики, всегда имеющем определенное непрерывное пространственное протяжение и совершенно однозначную, отнюдь не вероятностную природу. Сенсорное же поле целостной организации восприятия, по видимому, имеет вероятностную, виртуально-статистическую природу, во многом подобную природе волнового

поля квантовых теорий. Оно способно проявлять себя лишь как загадочные, только вероятностно обнаруживающие себя корреляции определенных физико-химических процессов в нервных клетках друг с другом, и, таким образом, принципиально не может иметь никакой непрерывной пространственной протяженности.

Попытки его опытного обнаружения в 20-е годы нашего века, особенно учитывая тогдашний уровень физико-химической экспериментальной техники, не имели шансов на успех. В наше же время, по-видимому, имеет смысл вернуться к идеям Кёлера, осмыслив их предыдущие теоретические и экспериментальные неудачи в свете идей и концепций другой точной научной дисциплины, успешно объяснившей загадочную целостность химических соединений, — квантовой теоретической химии.

Это оказалось возможным благодаря проведенному Н. Бором анализу квантовых взаимоотношений микро- и макрообъектов. Только последние имеют, оказывается, определенную пространственную локализацию, и именно поэтому чисто механические системы несут с собой «абсолютный минимум» свойств целостности — строгая локализация составляющих их компонентов сводит почти на нет все их взаимные системные влияния, которые могли бы изменить существенным образом свойства каждого системного компонента в отдельности. Микрообъекты же, напротив, строго локализованы только в редчайших случаях, большей же частью они особым, вероятностным образом «распределены» по всему пространству — любую данную микрочастицу можно обнаружить в любой точке, но с определенной — пусть ничтожно малой иногда — степенью вероятности (определяемой квадратом описывающей состояние этой микрокорпускулы волновой функции).

При образовании простейших химических соединений волновые функции составляющих атомы микрочастиц, особенно внешних — валентных — электронов, оказывают поэтому — вследствие взаимного «перекрывания» — интенсивнейшие влияния друг на друга. В некоторых случаях отдельные электроны — в результате сильнейших (электромагнитных) взаимодействий таких пространственно делокализованных корпускул — становятся как бы «коллективизированными», принадлежащими не одному какому-то определенному атому инди-

видуально, а всей образовавшейся молекуле, всем составляющим ее атомам сразу. Именно в этом современная квантовая химия видит главную причину особой «целостности», существенной неаддитивности и несводимости к свойствам своих атомных компонентов свойств всех, даже самых простейших — двухатомных химических молекул.

Теоретическое объяснение целостности, известной «неделимости» каждой химической многоатомной молекулы, было сделано в ходе установления единства двух областей человеческого знания, до тех пор считавшихся совершенно отличными и даже чуждыми друг другу, — физики и химии. Мы полагаем теперь, что столь же глубокое понимание следующего типа целостности системных объектов — целостности органической, — более многосторонне детерминирующей свойства всех компонентов свойствами целого, — будет достигнуто благодаря нахождению общего теоретического базиса трех главных современных естественнонаучных дисциплин — физики, химии и биологии.

Так что нельзя считать окончательными популярные в последние годы, особенно в период бурного расцвета кибернетического направления в науке, попытки свести все объяснение целостности системных объектов к одной только особенности их организации — исключительному богатству циклами обратных связей, по которым непрерывно циркулируют информация, энергия и даже молекулярные вещественные комплексы.

Мы полагаем, что насыщенность любой целостной органической системы теми или иными циклами обратной связи — это только эмпирический уровень, только конкретный способ физической реализации гораздо более глубокой, теоретической характеристики системной целостности, которая, как уже говорилось, была вскрыта совсем недавно. Характеристика эта — изменение топологии «внутри» объектов системного типа и особенно — на различных уровнях их организации.

2.3. Обязательное наличие нескольких уровней

Интерпретация специфической целостности системных объектов как своего рода «индикатора» наличия «внутри» них структур с топологией, существенно отлич-

ной от обычной топологии классической физики, привела нас, таким образом, почти автоматически к представлению об обязательном присутствии в целостных системах нескольких различных уровней — совокупностей структур, в которых имеет место одна и та же топология. Но, разумеется, различные структурные уровни таких систем, как живые существа, их сообщества или составляющие их ткани, отдельные клетки, органеллы клеток и т. д., по крайней мере на эмпирической стадии их изучения были известны задолго до создания общей теории систем.

Однако только последняя сделала одним из главных предметов исследований изучение самых различных соотношений между отдельными уровнями системных объектов — простых статистических корреляций, закономерностей жесткой, однозначной детерминации одних элементов данного уровня определенными структурами другого уровня, наконец, самых различных способов вероятностного, более гибкого и пластичного взаимодействия различных уровней. В живых системах наибольшее распространение имеют именно вероятностные, неоднозначные способы детерминации структур одного уровня структурами другого уровня — это показано в работах Ю. В. Сачкова, который наличие у объекта многих, различным образом коррелированных друг с другом структурных уровней рассматривает как одно из определяющих свойств его системности⁶.

Первым типом систем, исследованных математическими методами, как это показал Ю. В. Сачков, были классические газы статистической физики, в которых существенно различных уровней только два — макроскопические переменные давления, температуры и объема и микроскопические параметры столкновения молекул. Но даже в этом простейшем случае полное, не делающее никаких дополнительных предположений выведение свойств первого уровня из свойств второго оказывается невозможным, — вероятно, как раз из-за трудностей однозначного «сшивания» различных топологий этих двух уровней материальной действительности друг с другом.

Согласно подобного рода соображениям необычность квантовой механики проистекает также из того, что она устанавливает корреляции обычного, макроскопического

⁶ Ю. В. Сачков. Введение в вероятностный мир. М., 1971, стр. 51.

уровня классической физики, характеризуемого топологией Евдокса — Архимеда, с уровнем атомных и субатомных микрообъектов. Топология этого последнего уровня носит иной, нетривиальный характер. Мы изучали ее до сих пор только очень опосредствованно — с помощью волновой функции, являющейся при данной интерпретации просто корреляционной функцией «сшивания» квантовой микротопологии и классической макротопологии.

Более того: тогда вся квантовая физика, т. е. почти вся современная физическая наука, предстает перед нами в аспекте системных исследований как единое выведение свойств объектов с обычной топологией из свойств квантовых, топологически существенно нетривиальных объектов, — причем выведение «скорейшее» — с привлечением наименьшего числа промежуточных уровней. Различие между физикой и биологией тогда представляется состоящим только в числе этих промежуточных уровней и еще в том, насколько они сохраняют в себе существенную нетривиальность исходной, квантомеханической топологии.

Системные объекты физики, лишенные нетривиальной топологической организации, становятся твердыми телами, жидкостями, газами или плазмой, проводить границы и образовывать подмножества внутри которых можно почти произвольным образом, — не меняя их свойства. Живые же системы, напротив, имеют такую структуру своих уровней, такую их взаимную организацию, что существенная нетривиальность топологии элементов каждого уровня сохраняется все время их жизни. Говоря фигурально, целостность живого организма — это, по всей вероятности, особая, квантомеханическая целостность его молекул, «продолженная» и даже «увеличенная» до всех его макроскопических структур — благодаря наличию в нем особым образом подобранной системы многих уровней организации.

Произвольным образом выделять подмножества в «живых» белковых молекулах нельзя: достаточно, например, фиксировать границы подмножества так, чтобы оно содержало только один атом водорода (или углерода или азота), как мы сразу же покинем — в этом подмножестве — область живого и попадем в область чистой химии. Таким образом, уже на молекулярном

уровне биологических систем и из эмпирического материала физико-химических исследований живого явствует, что самый первый — молекулярный уровень организации связан в биологии с появлением некоторой новой (т. е. отличной от обычной, физической) топологии.

Большой проблемой общей теории систем является на сегодня абстрактный теоретический анализ возможного (разрешенного общими законами природы) многообразия различных уровней организации, которые могут «надстраиваться» над простейшим — евдоксовым уровнем организации материи классической физики. До сих пор исследования даже таких специалистов в этой области, как Р. В. Селларс, Г. Ч. Браун, А. Б. Новиков, Н. Р. Джерард и других, носят в основном эмпирический, феноменологический характер и основываются только на тщательном методологическом анализе опытных данных, полученных различными разделами науки о живом — анатомией и физиологией, биохимией и биофизикой, зоопсихологией и неврологией⁷.

Из-за отсутствия достаточно четкой и определенной математической экспликации самого понятия «уровень» до сих пор нет, например, согласия ни о числе основных структурных уровней организации живой материи, ни относительно того, существуют ли — в дополнение к этим основным (например, молекулярному, органелл, клеточному, органов, отдельного организма, популяции, вида, биогеоценоза, ландшафта, всей биосферы) — еще и промежуточные, только формирующиеся «ступени» повышения организованности материи. Опыт развития других точных наук (механики, физики и т. п.) свидетельствует, между тем, что универсальные и всеобщие критерии определения такого рода фундаментальных понятий не могут быть сформулированы однозначно только исходя из анализа эмпирического материала науки.

На определенном этапе развития каждой конкретной научной дисциплины решающее слово начинает принадлежать абстрактным математическим структурам, позволяющим придать некоторым сторонам и аспектам опытных данных универсальную всеобщность и необхо-

⁷ В. И. Кремянский. Структурные уровни живой материи. М., 1969, стр. 109 и сл.

димось, обязательно присущие всякому серьезному научному понятию. Мы полагаем, что концепция уровней организации общей теории систем в настоящее время как раз вплотную подошла к этому решающему рубежу ее конституирования в одно из важнейших и наиболее глубоких понятий современного естествознания.

Предложенные способы ее математической экспликации — с помощью фиксации различных топологий, объективно имеющих место на различных уровнях организации материи, — могут консолидировать наши общие представления в этой области в необходимые научные понятия. Но это случится только после того, как на основании критического и всестороннего анализа эмпирического материала во всех областях знания, где это понятие «работает», будет показано, что его топологическая экспликация позволяет отобрать из всего невообразимого океана опытных данных различных наук о живом все то, что интуитивно согласуется с нашими общими представлениями об уровнях организации.

Здесь встает вопрос о том, насколько при проведении этой программы исследований можно ограничиваться лишь комплексом биолого-медицинских наук и не принимать во внимание данные наук гуманитарных. В принципе понятие организации в этих последних вполне может иметь гораздо более глубокий и фундаментальный смысл, чем аналогичное понятие в науках медико-биологических, и оба эти понятия, будучи очень похожими, могут обладать различными математическими экспликациями. Но пока что, при самом первом и поверхностном сравнении с предлагаемой топологической экспликацией понятия организации эмпирического материала таких наук, как структурная лингвистика или математическая экономика, экспериментальная психология или кибернетическая эвристика, особых коллизий или явных трудностей вроде бы не возникает.

Окончательное суждение может быть вынесено только после тщательного и обстоятельного исследования «работоспособности» обсуждаемой экспликации в каждой конкретной научной дисциплине, в которой употребляются слова «система» или «уровень организации», и — самое главное — только после выявления его плодотворности в плане установления творческих контактов этих дисциплин друг с другом. Тем самым, между про-

чим, будет решен вопрос: «А возможна ли теория систем и что она нового и конкретного может дать практически работающему исследователю?»

§ 3. «Абстрактная» («математическая») биология (и биофизика): Н. Рашевский и другие

3.1. Возникновение «абстрактной» биологии

Направление поисков теоретического синтеза биологии и точных наук, которое носит название «абстрактной», «математической» биологии (и биофизики), уже получило настолько интересные теоретические результаты, что их методологическое, обобщенное рассмотрение может быть весьма плодотворным даже для дальнейшего прогресса современной теоретической физики⁸. Дело в том, что в абстрактной (математической) биологии имеется целый ряд работ, которые по своим целям и задачам во многом параллельны исследованиям по так называемой абстрактной теории поля — направлению в современной квантовой теории поля, которое занято поисками наиболее общих математических конструкций, пригодных для динамического описания структуры материальной действительности на уровне элементарных корпускул.

Нам кажется, что рано или поздно должен будет наступить такой момент в их параллельном, но до сих пор независимом друг от друга развитии, когда они начнут взаимодействовать — взаимно оплодотворять и обогащать наиболее глубокие теоретические построения каждой из названных научных дисциплин.

Конечная цель подобных взаимодействий — построение абстрактных оснований единой, синтетической теории естественных процессов — как физических и химических, так и биологических.

Н. Рашевский в самом начале 30-х годов нашего века создал научную школу, которая первое время ставила своей задачей разработку только формально-математических (и физических) моделей различных, отдельно взятых биологических процессов, — например,

⁸ Н. Рашевский. Модели и математические принципы в биологии. — В сб.: «Теоретическая и математическая биология». М., 1968, стр. 48.

движения крови по кровеносным сосудам или распространения возбуждения вдоль нервного волокна.

В большинстве работ, опубликованных за это время в основном для разработки идей единства физики, биологии и математики журнале «Бюллетин оф мэтхемэтикл байофизикс», речь идет о конкретных физико-математических моделях отдельных биологических явлений. Наряду с исследованиями по математической теории кровообращения и ионным механизмам нейропроводимости, созданы модели работы легких, сердца и других мышечных комплексов, модели диффузии молекул в самых различных метаболических системах организма, модели активного переноса веществ через клеточные мембраны, модели фармакологического воздействия различных лекарственных препаратов, модели образования и восприятия изображений на сетчатке глаза и т. д. и т. п.

Этот период преимущественного интереса к конкретным физико-математическим моделям отдельно, изолированно от других рассматриваемых частных сторон и процессов жизни, период «первичной» физико-математической «обработки» конкретного эмпирического материала биологии, заканчивается в школе Рашевского в середине 50-х годов. Позднее Рашевский и его ученики (Р. Розен, М. Арбиб и другие) начинают публикацию целого цикла работ, посвященных уже выявлению группы понятий и концепций, которые были бы способны связать в некоторое единое теоретическое целое все эти физико-математические модели самых различных сторон жизнедеятельности биологических организмов.

Конечно, журнал школы Рашевского теперь отнюдь не перестал печатать работы по физико-математическому моделированию отдельно взятых, конкретных биологических процессов — они по-прежнему занимают в нем подавляющее число страниц. Однако научные интересы ряда авторов к началу 60-х годов смещаются в сторону отыскания наиболее общих принципов, которые не только могли бы объяснить, например, механизмы постепенной остановки кровотечения при случайном порезе пальца, но и понять с единой, теоретической точки зрения всю совокупность соответствующих активных реакций на это событие. Именно реакцию всего живого организма в целом: возбуждение нервной системы, двигатель-

ные реакции отдергивания руки, появление в ране фагоцитов, клеточные процессы заживления, наконец, механизмы своевременной остановки роста клеток поврежденных тканей, предотвращающих неконтролируемое возрастание их общего числа (как это имеет место, например, в случае раковых новообразований) и т. д.

Теоретическое единство биологической науки Н. Рашевский и его ученики предлагают искать на тех же путях, на которых в свое время было достигнуто теоретическое единство физической науки,— на путях использования в биологии новых абстрактных математических пространств. Он полагает, что современная физика, подобно биологии, главное внимание должна обратить не на количественные, метрические характеристики объектов своих исследований, а на их более глубокие и общие, более фундаментальные свойства и качества (типа теоретико-групповых и топологических), которые до сих пор или вообще не замечались или же оставались на втором плане исследований.

Н. Рашевский и его ученики считают, что дальнейший прогресс теоретических исследований в этой области может выявить и более тонкую гносеологическую ситуацию: соотношение законов физики и биологии может оказаться напоминающим соотношение аксиом логики (и арифметики) и формально не выводимых из них (но и не опровергаемых ими) утверждений, обязательное существование которых в сложных дедуктивных системах (включающих в себя, по крайней мере, обычную арифметику целых чисел) доказывается известной теоремой Геделя. Конечно, основательное рассмотрение всего этого круга проблем — дело далекого будущего (поскольку ни современная физика, ни тем более биология еще не достигли требуемого здесь уровня формализации и аксиоматизации), однако, как показал Р. Розен, эти вопросы могут довольно неожиданным образом приобрести и чисто эмпирическую трактовку⁹.

Грубо говоря, если мы истолкуем каждый фундаментальный физический закон как некоторый формальный алгоритм, позволяющий по определенным характери-

⁹ R. Rosen. Church's Thesis and Its Relation to the Concept of Reality in Biology and Physics.—«Bulletin of Mathematical Biophysics», 1962, v. 24, p. 375.

стикам интересующих нас объектов в некоторый начальный момент времени («на входе») определить однозначно («вычислить») эти характеристики в каждый последующий момент времени («на выходе»), то мы можем придать проблеме взаимоотношения физики и биологии следующий, так сказать, абстрактно-алгоритмический смысл. Существует ли конечная система физических законов — «алгоритмов», определяющих совершенно однозначно — «вычислимым» образом все последующие состояния любого интересующего нас живого или неживого объекта (гипотеза I в терминологии Р. Розена)? Или же существование такой системы невозможно принципиально (гипотеза II), — гносеологическая ситуация, складывающаяся ныне в квантовой теории, утверждающей, что никакая будущая физическая теория принципиально не сможет «вычислить», в какую конкретно точку экрана попадет электрон после дифракции или в какой точно момент времени распадется именно данное ядро урана.

Р. Розен связал обе эти гипотезы о природе наиболее глубоких законов физики и биологии с проблемой эффективной физической реализации в любых материальных процессах так называемого тезиса Черча — утверждения, эквивалентного предположению, что «весь» мир, включая сюда и «всю» физику и «всю» биологию, устроен в соответствии с гипотезой I. Он показал, что в недалеком будущем, оценив теоретически допустимое обеими гипотезами разнообразие видов на Земле и сравнив его с эмпирически наблюдаемым, мы сможем опытным путем решить, не находятся ли физические и биологические законы между собой в отношении, аналогичном отношению аксиом логики (и арифметики) и не выводимых из них (и вместе с тем не противоречащих им) утверждений.

3.2. Наиболее общее изменение динамических структур живого

Важным теоретическим результатом, полученным школой Н. Рашевского — с точки зрения выявления общих оснований физической и биологической науки, — нам представляется обоснование необходимости перехода от понятий, использующих преимущественно количе-

ственные, метрические характеристики объектов, к понятиям и структурам более глубокой и общей — топологической и вообще реляционной природы¹⁰. Поскольку всякая форма жизни связана с определенной организацией составляющих ее структур, постольку основной вопрос здесь — достаточно строгая экспликация до сих пор трактовавшегося чисто качественно, интуитивно, понятия «организации».

«Абстрактные биологи», на наш взгляд, правильно считают возможным уточнить его, углубить и сделать более содержательным, — связывая различные формы организации с различными типами топологии соответствующих структур. Наглядно говоря, речь идет о различных способах выбора, фиксации только строго определенных классов из самых различных подмножеств, которые можно образовать из объектов, входящих в данную «организованную» систему.

Н. Рашевский связывает первоначальное зарождение своих идей с исследованиями Д'Арси Томпсона, который еще в книге «О росте и форме» (Кембридж, 1917) показал, что кости и другие части скелета различных животных могут быть «преобразованы» друг в друга с помощью непрерывных однозначных отображений. В современных терминах это означает топологическую гомотопность соответствующих объектов. Другим источником он называет книгу Курта Левина «Принципы топологической психологии», в которой провозглашалась необходимость привлечения методов общей теории непрерывных (топологических) преобразований к исследованию процессов мыслительной деятельности. Правда, употребление термина топология так и не привело еще у Левина к действительному использованию конкретного математического аппарата.

В основу своих теоретических построений Н. Рашевский и его последователи кладут соображение, что всякое изменение биологического объекта можно рассматривать как определенное топологическое отображение его начального состояния в некоторое конечное состояние. Все движения животных, как и рост растений, носят именно такой характер. Такую же природу имеют

¹⁰ *N. Rashevsky. Topology and Life.—«Bulletin of Mathematical Biophysics», 1954, v. 16, p. 317.*

постепенные, эволюционные изменения тех или иных форм скелетной, мышечной или другой пространственной организации живых существ.

Наиболее характерной чертой «движения» биологической формы организации материи являются, согласно Н. Рашевскому, не количественные или метрические изменения элементов типа длин, натяжений, усилий и т. п., а самые общие из известных нам изменений класса непрерывных преобразований объектов друг в друга. Это выделение наиболее общего и глубокого типа вариации любых известных нам биологических структур представляет несомненный интерес с точки зрения методологии современной науки о живом.

Такое понимание максимально общего типа вариации структур живых объектов должно входить в качестве необходимого компонента в любую современную биологическую теорию. Мало того: всякая попытка «свети» топологическое понимание общей вариации органических структур к каким-то частным, например только метрическим, изменениям приводит к подмене действительно живого объекта его механистической моделью. Конечно, адекватные физико-химические модели живого также войдут в теоретическую биологию,— но только при условии, что будут установлены определенные, строго однозначные их теоретические корреляции с лежащими в самом фундаменте биологической науки существенно топологическими понятиями.

Рашевскому принадлежит пригодная для этих целей схема последовательных топологических отображений друг в друга различных биологических функций организмов, находящихся на различных стадиях эволюционного развития,— так называемый принцип биотопологического эпиморфизма. Суть его состоит в том, что хотя, например, процессы питания у парамеции и у человека различны, тем не менее их можно определенным образом отобразить друг в друга — так, что некоторыми промежуточными этапами этого отображения оказываются и поедание добычи хищником и высасывание питательных веществ из почвы растением и многое другое.

Рассматривая аналогичным образом последовательные необходимые для существования жизни биологические функции организмов — раздражимость, движение, питание, выделение, размножение,— Рашевский убеж-

дается, что все они удовлетворяют принципу биотопологического эпиморфизма: позволяют представить любой организм — в единстве его жизненно важных функций — в виде абстрактной системы таких эпиморфных отображений — определенного топологического комплекса (графа). Последний состоит из некоторого множества точек, соединенных линиями, каждая из которых имеет определенное направление и указывает исходное и конечное множество соответствующего отображения.

Рашевский считает, что он таким образом построил своеобразный биологический аналог стандартного для современной топологии процесса триангуляции абстрактного математического пространства — представления его существенных топологических свойств некоторой комбинаторно-алгебраической схемой — и тем самым открыл возможность для использования в биологии не только теоретико-множественной, но и алгебраической, комбинаторной топологии. Его работы, посвященные этому кругу проблем, были выполнены еще до открытия Гротендиком абстрактных схем алгебраической геометрии — математических пространств, по нашему мнению, наиболее адекватных и более других приспособленных для изучения различных форм организации материальных объектов. Поэтому те конкретные типы топологических пространств, которые Рашевский подверг более детальному рассмотрению, имеют характер методических примеров «для фиксации идей» и реальных, наиболее существенных черт живых существ не отражают.

Единственное исключение в этом отношении — попытки выявить наиболее примитивный топологический граф, соответствующий любому живому организму, и количественная оценка на его основе общего числа самых различных индивидуальных видов жизни, которые могут вообще существовать на любой планете. Используя принцип биотопологического эпиморфизма, можно построить самый общий топологический комплекс-граф наиболее существенных для всякого живого существа отображений. Затем, используя известные из биологии принципы его возможных усложнений и предполагая, что каждый живой вид отличается от другого, по крайней мере, одним новым или недостающим эпиморфизмом, Рашевский на основании асимптотических оценок числа самых различных графов данного

структурного типа получил общее число различных биологических видов, которые принципиально могут существовать, в 10^8 .

Между тем на Земле различных видов имеется не более 10^6 —расхождение на два порядка величины, требующее для своего объяснения каких-то новых теоретических идей. И в этом принципиально важном пункте Н. Рашевский решает выдвинуть смелую гипотезу—он высказывает предположение, что наиболее общие законы природы допускают существование на различных планетах различных абстрактных биологий (аналогично тому, как теория относительности Эйнштейна допускает существование и плоского пространства-времени, и пространств положительной или отрицательной кривизны).

Решить, почему миллионы лет назад на Земле возник именно данный конкретный вариант абстрактной биологии, допускающий современное существование только 10^6 из общего числа в 10^8 теоретически возможных и допустимых наиболее общими законами природы различных видов живых существ,—это и должна сделать будущая теоретическая биология.

3.3. Математическая теория категорий в биологии

В плане выявления общих понятий, пригодных для конструирования с их помощью теоретических оснований всего комплекса современных естественных наук, важное значение имеют попытки применения к анализу абстрактных биологических систем одного из ведущих разделов современной математической науки—теории категорий (и функторов)¹¹. Тем самым, можно думать, биология впервые превзошла в отношении степени общности и широты диапазона динамических изменений рассматриваемых (базовых) математических структур даже современную теоретическую физику. В последней исследуемые объекты до сих пор представлялись только множествами; это обстоятельство неявно

¹¹ R. Rosen. Representation of Biological Systems from the Standpoint of the Theory of Categories.—«Bulletin of Mathematical Biophysics», 1958, v. 20, p. 317.

накладывало очень сильные ограничения на класс понятий, которые можно было использовать при построении соответствующих объясняющих математических конструкций.

Дело в том, что предположение будто все исходные объекты теории представляются множествами, приводит и в биологии и в физике элементарных корпускул к серьезным методологическим трудностям — примерно одного и того же характера для обеих, столь далеких до сих пор друг от друга научных дисциплин. Это предположение основывается на возможности четко отделить с самого начала, какие объекты входят в рассматриваемые теорией процессы, а какие — нет. В классическом естествознании сделать это было можно всегда — и совершенно однозначно (в силу строгой и однозначной локализации его объектов), в современном же такое жесткое накладывание с самого начала теоретико-множественных рамок на все его объекты — далеко не тривиальная методологическая проблема.

В физике специфически квантовые свойства микрокорпускул, особенно обусловленные наличием так называемых виртуальных процессов и состояний, заставляют нас усомниться в возможности представить множеством все виртуальные элементарные частицы, определяющие свойства даже одного-единственного протона. Точно так же в биологии существенная неоднозначность, свобода поведения любого живого существа не позволяют сказать с самого начала определенно, войдет ли, например, данный атом водорода в его состав или нет. Тем самым мы убеждаемся, что и в науке о живом такое на первый взгляд совсем «невинное» предположение, как неявная обычно гипотеза о представимости всех объектов теории множествами, уже почти автоматически влечет за собой отказ от такой определяющей черты всего живого, как свобода, непредсказуемость его действий, и подмену биологического существа какой-то жестко детерминированной механической схемой.

По-видимому, именно подобного рода методологические соображения заставили Р. Розена рассмотреть в качестве диапазонов изменения входа и выхода введенных им абстрактных биологических систем уже не множества определенных объектов, а их менее жестко фиксируемые собрания — категории. Последние задают

ся не свойством принадлежности их элементов к определенному множеству, а более «слабыми» условиями выполнимости на составляющих их объектах некоторых абстрактных математических операций — отображений этих объектов друг в друга (гомеоморфизмов или просто — морфизмов). В категорию — в отличие от множества — можно включить на некоторой последующей стадии ее анализа и некоторый новый, не рассматривавшийся с самого начала базовый объект: для этого достаточно убедиться, что на нем можно будет задать непротиворечиво операцию отображения его во все другие объекты данной категории (и соответственно этих всех других объектов — в него).

Такие менее жестко фиксированные собрания исходных объектов понадобились для максимально общего рассмотрения с их помощью абстрактных биологических систем с входом и выходом. Они представляют собой наиболее общие схемы и вместе с тем «простейшие строительные блоки», из которых можно «собрать» любую, сколь угодно сложную биологическую структуру.

Абстрактные биологические системы с входом и выходом описывают собой, например, и все субклеточные органеллы типа рибосом, на «вход» которых, как известно, подаются аминокислотные блоки (с направляющими их транспортными нуклеиновыми кислотами) плюс информационная РНК, а на «выходе» получается готовая белковая молекула (описание которой содержалось в этой информационной РНК). Ими могут быть и нервные клетки, в которых самые различные внешние раздражения, — скажем, световые или механические — на «входе» преобразуются в определенные последовательности импульсов. Абстрактной биологической системой является и каждый специфический орган с его часто весьма специализированными «входами» и «выходами», и само животное или растение, также характеризующееся определенной системой своих внешних «входов» и «выходов».

Установив теоретические связи абстрактных биологических систем с входом и выходом с общей теорией автоматов, Р. Розен, на основании чисто топологических соображений и не делая никаких ограничивающих предположений относительно конкретной структуры

живых существ, доказал ряд теорем, которые справедливы относительно любых мыслимых живых систем. С точки зрения выявления общих оснований физической и биологической науки, наибольшего внимания здесь заслуживают, на наш взгляд, его идеи относительно эмпирического изучения с помощью биологии особенностей структуры той категории, на базе которой «выстроена» данная, реализовавшаяся, скажем, на нашей планете абстрактная биологическая система.

Здесь мы в теоретической биологии сталкиваемся, в сущности говоря, с ситуацией, аналогичной той, с которой в прошлом веке столкнулись Лобачевский и Гаусс, когда они на основании доступного им эмпирического материала должны были решать опытным путем, какая же на самом деле справедлива на Земле геометрия — евклидова или отличная от нее (и Гаусс даже пытался выяснить это, измеряя с высокой степенью точности, отличны ли от 180° суммы всех углов очень больших треугольников). В наши дни Н. Рашевский и Р. Розен ставят в порядок дня эмпирическое выявление того типа абстрактной биологии, которая имеет место на Земле, и опытное — посредством изучения жизни на других планетах — исследование тех конкретных типов математических категорий, которые допускают возникновение и устойчивое функционирование других возможных типов биологических объектов.

Тем самым впервые вопросы биологического плана приобретают общее и важное для всего естествознания в целом методологическое «звучание». Например, Р. Розен обнаруживает связи таких общих характеристик математических категорий, как богатство их отображениями, отличными от постоянных или образующими никак не перекрывающиеся друг друга области значений и области определений со свойствами возникновения и сохранения необратимых изменений в самых различных живых существах данной конкретной биосферы.

В общем виде вопрос об обратимости изменений абстрактных биологических систем со входом и выходом, вызванных определенными внешними условиями, имеет огромное теоретическое и практическое значение. Именно с необратимых изменений такого рода начинается всякий эволюционный процесс, любое лечение болезни или ранения предполагает своей целью возвращение

организма в некоторое исходное, «здоровое» состояние,— посредством дифференцированных и дозированных внешних воздействий (в виде, например, введения лекарственных препаратов, различных физиотерапевтических процедур или даже хирургического вмешательства). Р. Розен рассматривает несколько простейших, схематизированных, но все же весьма поучительных случаев. Так, если абстрактная биологическая система допускает четкое разделение «метаболических» и «генетических» компонентов своей структуры, то наиболее простым и определенным является случай, когда «генетический» (т. е. имеющий дело только с самовоспроизведением) компонент остается почти неизменным при любых изменениях внешних воздействий.

Тогда, оказывается, необратимая изменимость абстрактных биологических систем решающим образом зависит от богатства соответствующих категорий отображениями, существенно отличными от постоянных и такими, что области определений и области значений большинства этих морфизмов не перекрывают друг друга. Если почти все отображения категории близки к постоянным, то все «выстроенные» в ней абстрактные биологические системы почти не будут иметь изменчивости. Они очень быстро будут возвращаться в некоторое «среднее» устойчивое состояние и в том случае, когда имеется большое перекрывание друг другом областей определений и областей значений большинства морфизмов данной категории. Живые существа в такой категории (если только они вообще смогут возникнуть) будут отличаться большим подобием друг другу и относительно малым разнообразием существенно различных форм.

Н. Рашевский и Р. Розен, используя полученные таким образом качественные результаты, высказывают гипотезу о том, что довольно четкое отделение в земной биосфере на макроскопическом уровне биологии и физико-химии живых существ друг от друга теоретически означает, что входы и выходы соответствующих абстрактных биологических систем на этом уровне имеют почти не перекрывающиеся друг с другом диапазоны изменения характеризующих их отображений. Это обстоятельство обуславливает самую возможность «распадения» полной категории всех физико-химических и биологических процессов на две довольно независимые и

отображающиеся на макроуровне только друг в друга подкатегории.

Если же мы начинаем исследовать уровень молекулярно-биологических явлений, то здесь мы сталкиваемся уже с довольно полным взаимным перекрыванием областей определений и областей значений почти всех морфизмов, характеризующих любой физико-химический или биологический процесс. Так что в этой области само разделение на биологию и физику и химию постепенно теряет однозначный смысл, и речь уже должна идти о едином естествознании, а не о физике, химии или биологии в отдельности.

Но такая ситуация могла бы иметь место уже и на макроскопическом уровне — уже на уровне отдельных организмов биология, и физика и химия могли быть столь «перепутаны» друг с другом, что их нельзя было бы однозначным образом отделить одну от другой. Здесь Р. Розен «обращает» свои теоретические результаты и использует их для эмпирического выявления математических характеристик той категории абстрактных биологических систем, которую мы наблюдаем на Земле. Поскольку для земной фауны и флоры характерно довольно большое многообразие весьма отличающихся и не переходящих друг в друга биологических видов (при довольно четком отделении на этом уровне биологии от физики и химии), постольку «земные» абстрактные биологические системы на этом уровне имеют категории отображений, весьма богатые морфизмами, сильно отличающимися от постоянных и с неперекрывающимися областями определений и областями значений.

Напротив, если на какой-то другой планете существует жизнь, представленная лишь немногими и притом довольно близкими друг другу видами и типами, то какие-то очень общие свойства этой планеты обусловили формирование на ней абстрактных биологических систем особого типа — с базовой категорией, морфизмы которой почти все постоянны и имеют перекрывающиеся заметным образом области определений и области значений.

Конечно, пока что все эти соображения имеют чисто гипотетический характер, но, готовясь к космическим полетам на Марс и Венеру, следует считаться и с тем, что жизнь на них может и не проявлять столь привычно-го для нас разделения на биологические и физико-хими-

ческие процессы, а иметь более сложную, комплексно-интегрированную природу. Н. Рашевский в этом плане не исключает существование и таких форм жизни, которые не имели бы ни одной, столь привычной для нас метрической характеристики, а имели бы только более общие — топологические — свойства и качества.

§ 4. Теоретическая биология: К. Уоддингтон и другие

4.1. Устойчиво канализированные траектории движения биологических структур — креоды

Перспективным в отношении выработки новых фундаментальных понятий, на основании которых станет, вероятно, возможным глубокий концептуальный синтез современного физического и биологического знания, нам представляется и направление исследований, которое связано главным образом с именем К. Уоддингтона¹². В нем обращают на себя внимание попытки выявить те стороны процессов жизни, которые общи всем ее структурным уровням — как молекулярно-биологическому, так и уровням субклеточных органелл, клеток, организмов, популяций, видов и т. д.

К. Уоддингтон в центр внимания ставит формирование того «костяка» понятий и методов, вокруг которого начнется, как он надеется, в недалеком будущем образование теоретической биологии как чего-то аналогичного современной теоретической физике, т. е. единой, систематической, объясняющей и математически доказывающей научной дисциплины. В этом плане он прежде всего обращает внимание на различия в понимании феномена жизни биохимиками, генетиками и эволюционистами — представителями трех наиболее развитых в теоретическом отношении областей современной биологической науки.

Для биохимика живое отличается от неживого специфической способностью синтезировать из сравнительно несложных физико-химических компонентов окружа-

¹² К. Уоддингтон. Основные биологические концепции.—В сб.: «На пути к теоретической биологии», т. I. М., 1970, стр. 11.

ющей среды (энергия солнечного света, вода, неорганические соли, относительно простые органические соединения и т. д.) гораздо более комплексные молекулярные структуры, обладающие такого рода физиологической активностью, какой нет у химических соединений, образовавшихся вне живого. В этом пункте о специфической физиологической активности, о том, что должны «уметь» еще «делать» эти синтезируемые только живыми организмами особые химические соединения, генетик скажет, что среди них должны быть обязательно такие, которые способны воспроизводить сами себя, т. е. порождать в результате определенной последовательности химических реакций молекулярные структуры, в основных чертах подобные исходным.

Однако специалист по теории эволюции подчеркнет, что с его точки зрения более существенное, определяющее свойство жизни еще не было названо — оно содержится только в таком уточнении понятия самовоспроизведения, которое позволяет живым организмам быть участниками (и вместе с тем — очень часто формирующими факторами) длительных процессов эволюции. А для этого необходимо, чтобы при самовоспроизведении живого время от времени случайно могли происходить изменения специфических свойств организма, которые передавались бы потомству. Говоря современным языком, с точки зрения теории эволюции система называется живой, если в ней закодирована некоторая передаваемая по наследству информация, если эта информация способна претерпевать иногда случайные изменения и если эта измененная информация также наследуется.

По мнению К. Уоддингтона, эти три определения жизни правомерны только в своей совокупности. Так, если мы на какой-то далекой планете обнаружим объекты, способные воспроизводить себя и передавать информацию по наследству, то мы назовем их живыми только в том случае, если они дополнительно проявляют еще и какую-то специфическую «физиологическую активность». Они, например, должны синтезировать из окружающей их неживой среды такие особенные комплексы элементов, которые, во-первых, чем-то существенно отличны от естественных, «природных» комплексов этой планеты. Они, во-вторых, должны не только передавать информацию, но и специфически взаимодействовать с

окружающей их неживой средой, изменять способы и типы своих контактов с ней или даже преобразовывать ее определенным образом (оставляя ее, однако, в основной своей массе «неживой»).

Здесь К. Уоддингтон выдвигает требование, чтобы общее определение живого обязательно рассматривало это свойство возникающим не только как итог самых различных взаимодействий всей совокупности органических молекул между собой, но и как результат определенного формирования таких взаимодействий в «поле» влияний внешней среды. «Ни одну единицу, какой бы сложностью она ни обладала, нельзя рассматривать как «живую», не касаясь ситуации, не включенной в эту «единицу»¹³.

Неразрывность связи живого с постоянно взаимодействующими с ним внешними «абиотическими» условиями К. Уоддингтон демонстрирует на примерах из области эмбриологии. Любой организм развивается, конечно же, как результат строго предопределенной деятельности генов, но даже в очень простых живых системах гены реализуют свои предпосылки только благодаря функционированию сложной системы белковых молекул, так или иначе взаимодействующих с внешним миром. Так что порядок и время включения тех или иных конкретных генов определяются только в итоге очень длинных и сложных цепей взаимодействий белковых молекул между собой и — самое главное — с окружающей именно данный организм внешней средой. Таким образом, всегда существует некоторое различие между генотипом — «идеальным описанием» некоторого вида с помощью его генов — и фенотипом — данным конкретным результатом претворения этого описания в данных конкретных внешних условиях (с помощью определенных цепей взаимодействий белковых молекул между собой и с внешним миром).

Понятие фенотипа К. Уоддингтон считает уже вполне «созревшим» для математической экспликации с помощью существенно новых абстрактных топологических пространств, которые могли бы фиксировать своими структурами не только геометрическую конфигурацию развивающихся организмов, но и соответствующие фи-

¹³ «На пути к теоретической биологии», т. I, стр. 177.

зико-химические условия в каждой точке внешней среды. Он представляет себе эти обобщенные пространства «движения» и «развития» биологических структур как нечто аналогичное многомерным фазовым пространствам физики, в которых необходимость учета какой-то новой характеристики объекта решалась довольно просто — введением нового, дополнительного измерения.

Таким образом, благодаря геометрической интерпретации приобретает возможность наглядно представить себе общую картину формирования данного конкретного организма (фенотипа) в процессе его многосторонних и разнообразных взаимодействий с данной конкретной внешней средой. Фенотип будет представляться теперь некоторой протяженной во времени фигурой, начинающейся в области, соответствующей структурам оплодотворенного яйца, и постепенно разветвляющейся на ряд отдельных субконфигураций, соответствующих развитию прогрессивно обособливающих и все более и более различающихся между собой органов — мышц, печени, почек, мозга и т. п. вплоть до сердца.

Далее Уоддингтон делает очень существенный, по нашему мнению, шаг в формировании основных концепций теоретической биологии как науки, имеющей «моделью» своего построения теоретическую физику, — он вводит весьма фундаментальное для всей науки о живом понятие креода — как основного типа структур, наиболее часто встречающихся в абстрактном математическом пространстве «движения» и «развития» живых объектов. Креод — это устойчиво канализированная траектория в этом пространстве движения и развития каждой определенной биологической системы, способная притягивать к себе и увлекать за собой многие другие близлежащие траектории.

Наиболее ярко наличие креодов в пространстве «биологического движения» выступает, по мнению Уоддингтона, в процессах эмбриогенеза, в процессах эпигенетического формирования в некоторой внешней среде какого-то фенотипа по данному определенному генотипу. Развивающиеся системы подобного рода, как известно, в довольно больших пределах способны «компенсировать» нарушающие воздействия внешних сил и — в результате сложных процессов внутренней саморегуляции — возвращаться к нормальному развитию на более

поздних стадиях своего морфогенеза. К. Уоддингтон полагает, что к такого рода явлениям уже не применимо понятие гомеостаза как столь характерной для живого способности поддерживать на постоянном уровне значенные некоторого, физиологически важного для организма параметра (например концентрации кислорода, сахара и других веществ или их ионов в крови, температур тела и пр.). Здесь имеет место сходная, но гораздо более общая ситуация, когда надо вести вдоль определенных траекторий — согласованных изменений со временем — всю группу жизненно важных для организма параметров, т. е. когда имеется устойчиво канализированное, стабилизирующее движение многих объектов (например, различных дифференцирующихся тканей живого организма), а не просто стабилизированное состояние одной какой-то системы.

Поддержание такой устойчивости движения, развития биологических объектов К. Уоддингтон предлагает называть гомеорезом, а его пространственную, визуальную интерпретацию в абстрактном пространстве состояний живых систем в виде стабильно канализированных траекторий — креодов — использовать для более глубокого анализа механизмов возникновения целенаправленного характера почти всех индивидуальных биологических процессов. Он считает, что в этом отношении понятие креода впервые позволяет сосредоточить все внимание исследователей на самом главном — на закономерном формировании всего целенаправленного процесса во времени, а не только на его итоговом, конечном состоянии (что обычно и ведет, как правило, к «телеологическим» или даже «финалистическим» представлениям о некоей внешней силе, все время «толкающей» живую систему к этому, ведомому только ей итоговому целесообразному состоянию).

Существенная «креодичность» структуры абстрактных математических пространств эмбрионального «движения», «развития» биологических объектов сейчас является в известном смысле уже чисто эмпирическим, опытным фактом. К. Уоддингтон считает поэтому возможным распространить идею креодичности с области только эмбриогенеза на всю теоретическую биологию в целом и особенно на такие ее уровни, как молекулярный и макроэволюционный. Он полагает, что в определен-

ном смысле три кратко проанализированных выше понимания самого феномена жизни биохимиком, генетиком и специалистом по теории эволюции являются с точки зрения существенной креодичности строения биологического пространства просто эмпирическими описаниями этого принципиальнейшего для всей биологии факта в понятиях основных опытных структур этих уровней исследования живого.

Так, для биохимика специфическая физиологическая активность определенного белкового фермента, обуславливающая способность синтеза им сложных, характерных только для живого молекул,— результат самых различных взаимодействий первичной структуры белка (т. е. последовательности аминокислот в нем) с окружающей его внешней средой. Ибо его ферментативная эффективность определяется прежде всего структурами третьего и более высокого порядков — точной трехмерной аллостерической конфигурацией его вторичных, спирально закрученных аминокислотных цепей. Она формируется и изменяется благодаря сложным, большей частью тоже аллостерическим взаимодействиям с соседними, близлежащими молекулами, а также благодаря влиянию таких интегральных характеристик всей внешней среды в целом, как концентрация в ней определенных сортов ионов, свободных радикалов, специфических полярных молекул и т. д.

К. Уоддингтон считает поэтому вполне оправданным говорить о «генотипических» и «фенотипических» явлениях уже на уровне «живых» белковых молекул, связывая первые только с порядком аминокислот в них, а вторые — с их точной геометрической конфигурацией в пространстве, определяющей все их конкретные биохимические свойства и формируемой только как итог определенных взаимодействий с окружающими их другими молекулами. Таким образом, очень общее представление о жизни как особо сложном (и все усложняющемся в процессе развития) типе взаимодействий определенным образом организованных материальных объектов с внешним миром, которое К. Уоддингтон сформулировал на основании анализа процессов эмбриогенеза, допускает непротиворечивое распространение на молекулярно-биологический уровень. Оно позволяет подойти по-новому к наиболее интересной особенности

биологических явлений на этом уровне — аллостеричности почти всех ферментативно важных свойств живых белковых молекул.

Трактуя эту аллостеричность как своего рода «фенотипичность» жизни уже на молекулярном уровне ее организации, К. Уоддингтон наибольшие свои теоретические надежды связывает с возможностью объяснить удивительную целесообразность, гармонию и согласованность всей совокупности биохимических реакций в каждом живом организме проявлением «креодичности» биологического пространства уже на расстояниях порядка размеров молекул. Именно наличие в этом пространстве стабильно канализированных, устойчивых траекторий перемещения почти всякой составляющей живую систему молекулы — а для больших молекул даже их частей — и трактовка этих креодов молекулярных движений как объективных геометрических структур нового типа — только это, по мнению К. Уоддингтона, позволит окончательно изгнать телеологию из молекулярно-биологических исследований.

С нашей точки зрения, было бы очень интересно и заманчиво в методологическом плане установить связи такого понимания креодов как чисто пространственных, геометрических, «направляющих» структур движения «живых» молекул с попытками применения в биологии фейнмановской формулировки квантовой механики. Нам представляется, что в принципе на этом пути рано или поздно окажется возможным даже объяснить теоретически сам механизм постепенного формирования креодов как наиболее вероятных траекторий движения определенных корпускул — особым образом усложняющих свою организацию и отношения с внешним миром «живых» систем молекул. Мы полагаем, что благодаря фейнмановскому способу рассмотрения движения в микромире как совершающегося (с определенной степенью вероятности) сразу по всем траекториям, соединяющим его начальную и конечную точки, креоды «живых» органических молекул (и их частей) приобретут в конце концов такой же теоретический статус, как и, например, наши современные представления об устойчивых (или возбужденных) состояниях, скажем, молекулы водорода.

Живые системы уже на молекулярном уровне приобретают такие конфигурации составляющих их корпус-

кул и такие их взаимоотношения с внешним миром, что для всякой отдельной попавшей в них (или составляющей их) молекулы наибольшую вероятность приобретают строго определенные, устойчиво канализированные траектории движения. Они образуют, например, последовательность перемещений молекул и их «частей» в ферментативных реакциях, ведущих к синтезу новой молекулы белка или ДНК.

Только после подобного теоретического «выведения» креодичности движения «живых» молекул из общих принципов физики можно начать более основательно исследовать креодичность движения на совсем другом уровне, на уровне макроэволюции живых организмов. Конкретные механизмы формирования таких в высшей степени специализированных и «целесообразно» устроенных органов, как глаз позвоночного животного, крыло насекомого, нога лошади или шея жирафа, по мнению К. Уоддингтона, вряд ли удастся когда-либо свести до конца к одним только случайным факторам.

Конечно, современная эволюционная теория очень многое уже объясняет с помощью представления о том, что всякий биологический вид «ведет» свою «игру» с природой отдельными полуизолированными популяциями, каждая из которых выбирает свою индивидуальную, несколько отличную от других линию поведения — свои индивидуальные ответные «ходы» на «вызовы» природы. И понимание элементарного процесса эволюции как оставления наиболее приспособленными наибольшего потомства, конечно, позволяет ныне даже теоретически рассчитывать скорость формирования на этом пути новых, но только очень близких друг другу видов. А как быть с «архетипами» эволюции — с ее большими «находками» типа крыла насекомого или глаза позвоночного, которые могут возникнуть только в результате координированных мутаций многих сотен генов?

К. Уоддингтон считает, что появление в процессе эволюции таких в высшей степени специализированных структур, требующих для своего формирования слишком большого числа «случайно» координированных индивидуальных актов изменчивости, объяснимо только креодичной природой также и макроэволюционных процессов. К сожалению, пока что эта очень интересная и многообещающая в теоретическом отношении идея не

была разработана сколько-нибудь обстоятельно, — возможно, потому, что не принималась во внимание обобщенно-пространственная трактовка биологического прогресса, развитая русской эволюционно-морфологической школой А. Н. Северцова — И. И. Шмальгаузена. Основные идеи этой школы будут рассмотрены нами дальше.

4.2. Организмы и белковые молекулы как квантовые «измерительные приборы»

Распространенное в последние годы мнение о том, что в наши дни, благодаря расшифровке пространственного строения ряда белков и матричной роли нуклеиновых кислот, все особенности живого будто бы начисто «сведены» к обычным законам физики и химии, является, конечно, преждевременным: в нем пока что желаемое выдается за действительное. В самом деле, когда Ф. Крик, Дж. Кендрью или Дж. Уотсон говорят о том, что теперь законы физики и химии распространены и на живые клетки, они в лучшем случае имеют в виду интуитивно наглядные, качественные и основанные целиком и полностью на классической физике представления о «сборке» белковых и нуклеиновых молекул определенными клеточными структурами.

Но при этом упускается из виду существенное обстоятельство — классическая физика не может объяснить теоретически устойчивость существования даже простейшей молекулярной системы — молекулы или атома водорода. Сделать это можно только отказавшись от классической механики (и классической физики вообще) и разработав новую, полностью лишенную наглядности и почти всегда противоречащую нашей макроскопической интуиции квантовую механику субатомных и субмолекулярных движений. Когда же мы говорим о живом, мы прежде всего имеем в виду его способность не только сохранять поразительную устойчивость его сложнейших молекулярных структур, но и передавать эту устойчивость другим, новым, только что «выстроенным» в клетке белковым или нуклеиновым комплексам.

Теоретический подход к проблеме соотношения физики и биологии на молекулярном уровне должен включать применение каких-то конкретных квантовомеханических физических законов и попытки количественного

расчета, по крайней мере, устойчивости самих «живых» молекул на основании такого рода законов. Этого никто еще не проделал — из-за исключительной трудности математических задач, к решению которых сводится корректное рассмотрение даже простейших проблем подобного типа. Поэтому пока что наиболее целесообразно для теоретической биологии все внимание сосредоточить на чисто концептуальном анализе явлений жизни с точки зрения квантовой механики.

Один из последователей К. Уоддингтона американский биофизик Г. Патти полагает, что основные трудности возникают здесь из-за того, что необходимое условие возникновения и сохранения жизни — способность к надежной передаче по наследству признаков, сложившихся под действием естественного отбора, — никому не удалось пока что сформулировать на языке основных понятий современной физики. Мало того, в точной трактовке этого условия расходятся между собой и многие биологи. Пытаясь уточнить и выразить его с помощью физических концепций, мы снова приходим в противоречие с основными представлениями классической физики: эволюция биологических систем просто невозможна, если все законы движения составляющих их компонентов понимаются как однозначные правила единственно возможного перехода из определенного начального состояния в определенное конечное состояние. Эволюция должна включать моменты выбора одной-единственной из целого ряда альтернатив, момент неоднозначности в наступлении того или иного конечного состояния — черты понимания законов природы, столь характерные для физики квантовой, более общей и глубокой, чем классическая.

Трактовка всех явлений жизни с точки зрения физики должна быть с самого начала только квантовой, опирающейся на понимание движений всех корпускул как совершающихся лишь с определенной степенью вероятности в каждом потенциально возможном направлении. Тогда уже на уровне «живых» белковых молекул мы приходим к интересной перспективе решить проблему: как совместить процесс эволюции, с одной стороны, и столь характерную для жизни исключительную степень надежности в передаче наследственной информации — с другой. Ведь такая высокая надежность в хра-

нении и передаче наследственной информации — необходимое условие самого процесса эволюции как процесса усложнения, а не упрощения биологических структур.

Г. Патти полагает, что уже на уровне основных понятий квантовой механики, не производя детальных математических расчетов, мы можем очень многое понять в специфике совмещения этих противоречивых и, на первый взгляд, даже взаимно исключающих друг друга черт живого в одних и тех же белковых и нуклеиновых молекулах, если рассматривать последние как специфически квантовомеханические микроскопические измерительные устройства. Наиболее многосторонние «измерения» окружающей их действительности производят сложным образом спирализированные трехмерные конфигурации белковых молекул. Они, как известно, способны аллостерически реагировать даже на суммарную концентрацию в окружающей их среде некоторых сортов ионов (например, магния или калия), осуществляя ферментативный синтез специфически биологических веществ в строго определенном диапазоне характеристик внешнего мира. Таким образом открывается очень интересная возможность рассматривать каждый конкретный фенотип некоторого организма как результат огромной последовательности таких молекулярных квантовых «измерений» данных конкретных внешних условий специфическими белковыми «измерительными приборами», создаваемыми на основе его генотипа.

В известном смысле — с точки зрения квантовой теории — и сам фенотип предстает в таком случае перед нами как последовательно формируемый особо сложный «измерительный прибор», который проверяет в ходе своих взаимодействий с конкретной внешней средой «меру приспособленности» к ней своего генотипа. До сих пор биологи слишком большое ударение делали на самом организме, в то время как на самом деле не существует ни одной системы, которую можно было бы назвать «живой», не рассматривая подробнейшим и обстоятельнейшим образом всю совокупность ее взаимоотношений с окружающей внешней обстановкой. Жизнь — это свойство, присущее только определенным экологическим системам в целом, любые же изолированные скопления макромолекул вне многостороннего анализа их взаимо-

отношений с окружающим внешним миром не могут быть признаны живыми.

В связи с этим Г. Патти предлагает глубокое, на наш взгляд, изменение самой постановки вопроса о происхождении жизни; речь здесь должна идти не о том, что возникло раньше — белки или нуклеиновые кислоты, — а прежде всего о том, какова была та простейшая экологическая система, которая обеспечивала возможность дальнейшего неуклонного прогрессивного совершенствования организации жизни благодаря самым разнообразным эволюционным процессам. Он предлагает более серьезно отнестись к известному, на первый взгляд, парадоксально фантастическому вопросу С. Батлера: почему до сих пор эволюция шла по пути только прогрессивного усложнения живого и какие законы природы запрещают ей в один прекрасный момент повернуть в обратном направлении и начать движение вспять, скажем, от слона к амебе? Без тщательного рассмотрения обобщенных характеристик природных условий на нашей планете за все время существования на ней живых существ ответить на этот вопрос, по-видимому, невозможно.

К сожалению, в анализе взаимоотношений квантовой физики и биологии Г. Патти почему-то не использует послевоенной, фейнмановской трактовки квантовой механики, основанной на рассмотрении любого движения в микромире как совершающегося сразу по всей совокупности путей, соединяющую его начальную и конечную точки — но только с определенной, как правило очень малой, степенью вероятности. Эта многотраекторная (для каждой отдельной микрочастицы даже) интерпретация всякого вида субатомных движений, по нашему мнению, многое прояснила бы в его очень интересном и перспективном понимании «живых» белковых и нуклеиновых молекул как особого рода сложных, аллостерических измеряющих устройств. Последние обладают способностью «выстраивать» между изменчивым внешним миром и максимально устойчивой «записью» основных характеристик данного вида в его «нуклеиновом» генотипе целую иерархию различного рода уровней «измерения» аллостерическими белковыми молекулами самых разных переменных характеристик внешнего мира. В конце концов это находит свое окончательное воплощение в фор-

дискуссиях и обсуждениях чисто биологических проблем ученых-математиков такого масштаба, как Р. Том и Э. К. Зиман, это этап развития теоретической биологии, до которого надо еще довольно долго «дорастать» всем другим, конкурирующим направлениям построения последней.

Опыт создания теоретической физики убедительно показывает, что основные, наиболее глубокие и общие понятия физической науки оказывается возможным строго и недвусмысленно сформулировать только с помощью глубокой и серьезной математики. Например, основополагающие понятия состояния и наблюдаемой в квантовой теории можно определить только как вектор и, соответственно, оператор в бесконечномерном гильбертовом пространстве, которое было введено в науку всего лишь за два десятилетия до создания квантовой механики. Построение теории электромагнетизма Максвеллом оказалось возможным только после того, как за несколько десятилетий до этого Коши, Гаусс, Гамильтон, Стокс и другие ведущие математики XIX в. развили достаточно общую теорию уравнений в частных производных (и векторный анализ). И при этом такие основные, принципиально важные понятия теории электричества, как, например, потенциал или, тем более, вектор-потенциал, можно задать, оказывается, только ссылаясь на конкретные структуры и операции в многомерных, аксиоматически определяемых пространствах. (Мы уже не говорим здесь о том, что Ньютону, чтобы заложить основания науки о простейших, механических движениях, пришлось создать новую область математики — анализ — и определять такие важнейшие понятия теоретической механики, как скорость или ускорение с помощью вводимой в этой дисциплине операции дифференцирования.)

Сказанное вовсе не означает, что работы Р. Тома и Э. К. Зимана дают окончательное решение основополагающих математических вопросов современной теоретической биологии. Скорее всего в развитии последней они будут иметь чисто методическое значение — как первые попытки установить творческое взаимодействие понятийного аппарата современной математики и таких областей современной науки о живом, как эволюционная теория, эмбриогенетика и нейропсихология.

Однако устанавливать новые и углублять, развивать далее старые концептуальные контакты математики и теоретического (и эмпирического) материала — одна из постоянных и основных задач современной биологии. Хотя это вовсе не означает, разумеется, что достаточно только применить к науке о живом современную математику в ее наиболее абстрактных формах — и трудные вопросы формирования наиболее глубоких, универсальных и всеобщих понятий всего биологического знания в целом решатся сами собой.

Абстрактные, аксиоматически задаваемые структуры современного этапа в развитии математики — необходимые элементы построения теоретического аппарата науки в наши дни. Но — только элементы, определенное и строго однозначное включение которых в развиваемую теорию обуславливается уже не математической наукой, а только эмпирическим и теоретическим материалом данной математизируемой научной дисциплины.

Источником формирования идей Р. Тома служат математические результаты их автора по топологической теории устойчивости решений дифференциальных уравнений. Р. Тома не интересуется то, что даже в биологии морфогенез как общий процесс формирования совершенно определенных форм живых объектов имеет весьма и весьма различную природу даже на самых главных структурных уровнях биологической организации. Он даже морфогенез в неживой природе (например, формирование очень причудливых форм у скал, подвергающихся действию прибоя или атмосферной, ветровой эрозии) хотел бы объяснить теми же механизмами, что и морфогенез в биологии, — независимо от субстрата, материального носителя изучаемых процессов.

Представляют интерес следующие высказывания Р. Тома, связь которых с материалистической традицией французской философии и особенно идеями Р. Декарта очевидна: «Каждый экспериментатор работает в какой-либо специальной области. Мы принимаем как данную «априори» классификацию наук — это разделение изучаемых нами явлений на области физики, химии, биологии... А чем обусловлено это разделение, если не расчленением поля нашего восприятия на «креоды», кажущиеся нам обособленными? Бесполезно было бы противопоставлять нашей качественной модели модели

количественные, считая их единственно научными и полезными. Ибо любая количественная модель подразумевает качественное разделение реальных явлений, предварительное выделение «системы», рассматриваемой как устойчивая и экспериментально воспроизводимая...

...Конечная цель науки заключается не в том, чтобы собирать без разбора любые эмпирические данные, а в том, чтобы организовать эти данные в более или менее формализованные системы для первичного обобщения и объяснения. Для этого необходимо иметь «априори» какие-то представления о том, как происходят те или иные явления, т. е. надо иметь модели... Моя попытка описать динамические модели, совместимые с морфологическими данными, представляет собой первый шаг на пути создания этой «Общей теории моделей», которую рано или поздно придется создать»¹⁵.

Это высказывание, на наш взгляд, показывает, насколько глубоко и многосторонне идеи поисков единства всего комплекса естественных наук проникают в наши дни в умы ученых. Вместе с тем мы не можем оставить без критики механицизм, который обнаруживается в методологических построениях Р. Тома. Так, он с самого начала отказывается обратить сколько-нибудь серьезное внимание на существенное, качественное различие в поведении биологических объектов на молекулярном, клеточном, организменном и макроэволюционном уровнях. Даже столь неоспоримые факты физики, как качественная специфика квантовых явлений, ставятся им под сомнение.

В данном случае, по-видимому, имеет место нарушение правила постепенности обобщений. Наука не приобретает ничего нового, если одно из ее важнейших и основополагающих понятий — понятие организации — начинает толковаться излишне расширительно, — так, что становится даже трудно найти такой объект, который нельзя было бы подвести под него. Со временем, по мере развития теоретической биологии, идеи Р. Тома займут в ней соответствующее место, однако произойдет это только после определения границ их применимости: сейчас, например, ниоткуда не следует, что все морфогенетические типы организации живого связаны обязательно

¹⁵ «На пути к теоретической биологии», т. I, стр. 152—153.

только с дифференцируемыми функциями (что совершенно необходимо для применимости используемого Р. Томом топологического аппарата теории дифференцируемых отображений).

Само по себе возникновение определенных ограничений, накладываемых законами природы на классы самых различных отображений объектов теории друг в друга, и особенно ограничение последних только достаточно гладкими, дифференцируемыми отображениями — интереснейшая методологическая проблема будущих общих оснований всего теоретического естествознания. От ее серьезного разрешения, по-видимому, и зависит окончательная судьба всей программы Тома, близость которой материалистической диалектике подчеркивает ее автор: «Согласно нашей модели, морфогенез обусловлен конфликтом, борьбой между двумя или несколькими «центрами притяжения» — ее, таким образом, можно представить как своего рода возврат к идеям первых материалистов Анаксимандра и Гераклита, имеющим 25-вековую давность. ...Борьба происходит не только между организмами или видами, но также в каждый момент в любой точке отдельного организма. Вспомним слова Гераклита: «Следует знать, что борьба идет повсюду, что справедливость есть борьба и что все вещи порождаются борьбой и необходимостью»¹⁶.

§ 5. Некоторые вопросы современной теории эволюции: А. Н. Северцов и другие

5.1. Проблема прогресса в биологии

Общее направление прогрессивной биологической эволюции и особенно принципы сравнительной оценки итогов эволюции различных видов и типов живых систем были глубоко рассмотрены еще в первых десятилетиях XX века русской эволюционно-морфологической школой А. Н. Северцова — И. И. Шмальгаузена¹⁷.

Эта школа положила в основу оценки результатов эволюции представление о прогрессивном усложнении взаимоотношений живого организма и окружающей его

¹⁶ «На пути к теоретической биологии», т. I, стр. 156—157.

¹⁷ И. И. Шмальгаузен. Проблемы дарвинизма, изд. 2-е. Л., 1969.

внешней среды. Наиболее примитивен характер таких взаимоотношений, конечно же, у первичных одноклеточных организмов и их теперешних потомков — элементарных простейших, которые способны захватывать только случайно сталкивающиеся с ними питательные структуры из своего ближайшего окружения и в этом смысле до сих пор остаются почти безответной игрушкой случайных внешних сил: они погибают массами при малейшем, даже чисто локальном, неблагоприятном изменении условий существования.

Приобретение такими более высоко организованными простейшими, как амеба, способности даже небольших самостоятельных передвижений (самым примитивным способом — переливанием в вытягиваемый в нужном направлении отросток) — уже огромный шаг в усложнении взаимоотношений живого с внешним миром. А за ним последовали еще большие шаги — возникновение многоклеточных организмов, в которых различные группы клеток стали уже специализированно заниматься отличными друг от друга аспектами взаимоотношений с внешней средой (внутренние, например, — перевариванием питательных веществ, внешние — охраной от вторжения врагов), формирование их передне-задней и (или — у растений — только) верхне-нижней асимметрии, которое по-новому поставило всю эту проблему, и т. д.

Такие большие этапы усложнения морфо-физиологической организации, благодаря которым живые организмы не только резко повышают свою жизнедеятельность, но и значительно расширяют среду своего обитания и — самое главное — становятся способными устанавливать новые связи и контакты с какими-то существенно новыми элементами внешнего мира, А. Н. Северцов назвал ароморфозами. Наиболее яркий пример ароморфоза — возникновение и развитие млекопитающих. Оно началось с казалось бы совсем незначительного эволюционного приобретения — со случайного возникновения у какого-то их предка волосяного покрова.

Однако обусловленное этим уменьшение потерь тепла организмом повлекло за собой заметное повышение общей интенсивности биохимического обмена веществ, что резко увеличило возможности по самозащите животных и преследованию добычи в любую погоду. Последнее в свою очередь вызвало бурное развитие конечностей и

мускулатуры, а за ними — и легких, сердца и кровеносной системы, что помогло окончательно стабилизировать постоянную и притом довольно высокую (наиболее подходящую для самого быстрого протекания биохимических реакций) температуру тела. Все это в сочетании с приобретенной позднее способностью живого к рождению потомства и выкармливанию его молоком открыло перед млекопитающими огромные возможности по завоеванию новых сред обитания. Но необходимость приспособляться к различным природным условиям на этих пространствах и особенно к самым различным повадкам обитающих на них хищных врагов и, наоборот, организмов, являющихся средствами питания, дала резкий толчок к формированию у млекопитающих высших форм нервной деятельности.

И в этом пункте А. Н. Северцов и И. И. Шмальгаузен очень интересно и содержательно, на наш взгляд, раскрывают глубокую диалектику прогрессивного совершенствования биологических форм организации материи. Повышение уровня организации живых систем связано, оказывается, не только с установлением ими непосредственных контактов и, так сказать, с «физическим» освоением новых областей внешнего мира. Оно сопровождается и диаметрально противоположным процессом все более и более глубокого и все более расширяющегося, многостороннего проникновения внешнего мира в эволюционирующие организмы. Такое проникновение может иметь в самых примитивных случаях также и характер чисто «физического» внедрения, — при посредстве очень сложной системы соединенных с окружающей средой каналов внутри почти каждой живой клетки. Аналогичный характер носят все совершенствующиеся системы питания и дыхания, которые в конце концов являются просто специализированными органами установления таких контактов каждой клетки организма с внешним миром.

Но А. Н. Северцов еще в 20-е годы нашего века обратил внимание на другое, гораздо более существенное и принципиальное в этом плане обстоятельство — на то, что наиболее глубоко и многосторонне окружающая среда «проникает» в эволюционирующие системы благодаря развитию высших форм их нервной деятельности. Именно постепенное создание млекопитающими все

более и более полных нейронных «моделей» внешнего мира обеспечило им наиболее быстрый прогресс в эволюционном приспособлении поведения к самым различным природным условиям на нашей планете. И здесь почти очевидным образом уровень эволюционного совершенствования определяется «глубиной» и полнотой проникновения внешнего мира в данный конкретный организм (в смысле способности его нервной системы максимально полно отразить все наиболее существенные для его выживания факторы окружающей среды). В этом отношении млекопитающие, по-видимому, первыми «нащупали» генеральную линию наиболее быстрого прогрессирования органической эволюции, поскольку именно в их классе сформировался человек, нервная система которого, в принципе, способна отразить все многообразие объектов окружающего нас мира.

Другой пример эволюции взаимоотношений внешнего и внутреннего мира в живом организме доставляют насекомые — один из самых многочисленных классов живого на Земле. Их ароморфоз начался, как можно полагать, с формирования зачатков трахейной системы дыхания, что сразу же дало более совершенное снабжение тканей и органов кислородом и заметно повысило активность окислительных процессов, обмена веществ и т. д.

Это общее повышение жизнедеятельности организма в свою очередь обеспечило возможности для резкого роста интенсивности питания, способности накапливать запасные питательные вещества и т. п.

Дальнейшее развитие трахей своеобразно и специфичным только для насекомых образом поставило проблему физического (в самом их организме) соотношения внутреннего и внешнего. Ведь они «пронизаны» воздухом, и именно это настолько резко снизило удельный вес тканей, что в сочетании с развитием крыльев обусловило появление у них способностей летать, в свою очередь повлекшее за собой завоевание ими воздушной среды над всеми континентами. Но проникновение в самые различные природные зоны земного шара, приспособление к очень широкому диапазону господствовавших там внешних условий не могли не обусловить последующего формирования у насекомых вместе с тем и достаточно высоких форм нервной деятельности.

По мере «завоевания» насекомыми Земли внешний мир стал все более и более «проникать» в их тело уже не только через трахеи, а прежде всего через их нейронные сети — путем развития очень сложных систем безусловных рефлексов, где-то граничащих даже с элементами высшей нервной деятельности. Так изученные в этом отношении пчелы и муравьи имеют уже зачатки ассоциативной памяти и образования условных связей, благодаря которым они ориентируются в пространстве, запоминают поисковые пути, безошибочно возвращаясь в свое гнездо (правда, после учебной тренировки). Многие насекомые способны различать цвета, активно реагировать на движущиеся предметы. У пчел и муравьев высоко развиты обоняние и осязание. Весьма характерны для насекомых и управляемые сложнейшими системами безусловных рефлексов коллективные формы поведения и совместной жизни в довольно больших иногда колониях, в которых всегда проявляется вместе с тем и высокая степень заботы о потомстве.

Но нервная система насекомых целиком почти ориентирована на создание пусть сложнейших, но все же только безусловных рефлексов, тогда как построение сколько-нибудь общих и глубоких моделей внешней действительности возможно только на базе преимущественного развития рефлексов условных. Поэтому ароморфоз насекомых, несмотря на все их колоссальные успехи в приспособительном совершенствовании, огромную численность и завоевание ими всей суши, — тупиковая ветвь эволюции.

Это заключение современной эволюционной теории имеет пока ориентировочный характер. Безусловную доказательную силу оно приобретет, по-видимому, только после построения общей теоретической биологии. В ходе ее создания мы обязательно должны будем как-то связать все кратко описанные здесь обобщенно-пространственные аспекты эволюционной теории с идеей К. Уоддингтона о креодичности любого биологического пространства. Механизмы же формирования этой креодичности уже на уровне отдельных молекул живого, вероятно, можно будет объяснить исходя из фейнмановской, многотраекторной для каждой частицы формулировки квантовой механики.

5.2. Обобщенно-пространственные аспекты эволюционной теории

Возникает вопрос: достаточно ли рассмотренных выше подходов к отысканию общих оснований физики и биологии для достижения наукой о живом такого же уровня объяснительной силы, какой характерен для современной физической науки? Или же органический мир еще скрывает в себе такие стороны и аспекты, которые остались до сих пор не затронутыми этими новейшими подходами, причем именно они, эти еще не нашедшие пока что никакого контакта с физикой, химией и математикой стороны и аспекты живого и определяют ту грань, которая отделяет его от неживого?

Конечно, окончательный ответ на такого рода вопросы может дать только будущее — будущее развитие всего комплекса естественных наук. Однако уже сейчас, по нашему мнению, имеет смысл поставить всю эту проблему в достаточно общем, теоретическом виде. Тогда она будет выглядеть следующим образом. Физика и химия изучали до сих пор явления и процессы, вся «память» которых целиком и полностью сводится к информации, содержащейся в понятии абсолютно однородного пространства-времени, в котором они протекают. Организация объектов этих научных дисциплин настолько проста, что им «не на чем» записывать, фиксировать свои предыдущие состояния. В биологии же мы сталкиваемся с объектами, само возникновение и существование которых основано на фиксации в их структуре и организации определенных черт и особенностей событий прошедшего.

Органические объекты — это объекты теоретического естествознания, которые в самом своем строении несут написанную этим, очень интересным и своеобразным «кодом» (языком) историю своего действительного бытия и бытия своих предшественников. Разнообразие и своеобразие живых существ, следовательно, качественным образом отличается от разнообразия и своеобразия элементарных частиц. Сложность структуры и утонченнейшая дифференцировка живых существ — продукт истории, результат длительного эволюционного процесса.

Тогда проблему, которая нас интересует, в общем виде можно будет сформулировать следующим образом: каков должен быть минимально простой набор свойств

некоторой элементарной «предбиологической» системы, который позволил бы последней вступить на путь длительной и многосторонней эволюции; позволил бы ей приобрести все то многообразие свойств и качеств, всю ту пластичность и дифференцированность организации, которые так поражают нас при знакомстве с растительным и животным миром? Достаточно ли, далее, для этого, чтобы система могла производить себе подобные, копируя свое генетическое описание?

Короче говоря: каковы должны быть те минимальные свойства элементарной «предбиологической» системы, которые позволяют ей извлекать из хаоса случайных мутаций порядок и организацию, выделяя «информацию» — наиболее приспособленные к данным внешним условиям органические структуры — из «белого шума» случайных квантовых скачков? Один из наиболее трудных вопросов будущих оснований всего теоретического естествознания состоит, как можно думать, именно в этом. Ведь общая эволюция — это, с одной стороны, отнюдь не эмбриональное развитие, где с самого начала внутри исходной живой клетки имеется определенная информация о том, что должно получиться как результат эмбриогенеза. С другой стороны, общая эволюция — это также и не заранее спрограммированное извне обучение, когда некая внешняя «обучающая программа» также с самого начала уже несет в себе всю ту новую информацию, которую обучаемый объект только должен определенным образом «усвоить». Эволюция — это, вероятно, единственный путь накопления существенно новой информации, которой не было и не может быть ни внутри, ни вовне исходных эволюционирующих структур.

Нам кажется, что уже сейчас в общей теории биологической эволюции имеется целый ряд областей, которые нуждаются в более наглядной и конкретной экспликации с помощью новых и достаточно абстрактных математических пространств. Например, к ним относится одно из основных понятий современной эволюционной теории — понятие экологической ниши по Э. Майру¹⁵. Только на своих низших, чисто географических уровнях оно может быть представлено просто как неко-

¹⁵ Э. Майр. Зоологический вид и эволюция. М., 1968.

торый определенный территориальный ареал обитания данного конкретного вида (хотя уже и здесь проводить географические границы можно и нужно всегда лишь с очень большой свободой — до нескольких десятков или даже сотен километров в ту или другую сторону, поскольку многие животные и особенно птицы способны переместиться на такие расстояния всего за несколько часов). Так что на каком-то, более важном для теории эволюции уровне рассмотрения наше обычное, наглядное геометрическое (и географическое) пространство должно быть заменено таким его обобщением, которое допускало бы последовательное и логически непротиворечивое оперирование со столь свободно, «толерантно» заданными его подмножествами.

С другой стороны, это обобщенное абстрактное пространство общей теории эволюции должно обязательно иметь еще и какие-то «дополнительные измерения» — для задания с их помощью определенных биологических характеристик данной экологической ниши, — особенно с точки зрения динамических перспектив обитания в ней конкретной системы взаимосвязанных между собой видов. Ведь, согласно Э. Майру, в подавляющем большинстве случаев всякая новая экологическая ниша, в которой формируется новый вид, — это скорее всего эволюционный тупик. Только один раз в миллион лет — в среднем, а то и значительно реже — в какой-то совершенно новой экологической нише могут встретиться столь разнообразные природные условия и такое большое число относительно изолированных друг от друга географических областей, что в них, постепенно отделяясь от своих соседей, начнется формирование более прогрессивных видов. Ниша станет уже целой адаптационной зоной, базой возникновения целых новых «типов».

Не случайно, например, наибольшие темпы видообразования на Земле имели место тогда, когда происходило попеременное затопление и осушение материковых шельфов с образованием обширных, но мелководных шельфовых морей и многочисленных, частично изолированных друг от друга островов и заливов. В случаях же глубокого погружения каких-то частей материка в океан или их полного осушения, когда на огромных пространствах устанавливались примерно одинаковые при-

родные условия и исчезали естественные преграды между их отдельными областями, появление новых видов почти совсем прекращалось. Э. Майр, таким образом трактует глубинные механизмы возникновения эволюционных изменений как обусловленный случайными генетическими перестройками результат выживания многих поколений органического мира на фоне самых различных географических ландшафтов.

В этом пункте прогресс теоретической биологии в очень многом будет зависеть от успехов и темпов создания теоретической географии. Современные, чисто качественные характеристики природных условий в различных областях земной суши или океана и в различные геологические эпохи не позволяют дать ответ на многие важные вопросы макроэволюционной теории. К ним относится вопрос об универсальности пути эволюции, пройденного живым миром на Земле,— насколько его основные черты и, тем более, итоги справедливы для других небесных тел. Или вопрос о том, каковы те границы — во времени и в пространстве — существенного изменения природных условий, которые могут основательным образом отклонить эволюцию от ее «генеральной линии», ведущей к появлению мыслящих существ. По той же причине эволюционная теория не может еще ответить и на простые, конкретные вопросы: почему, например, в меловой период так неожиданно и быстро вымерли динозавры на суше и аммониты в море? Достаточно ли для полного объяснения этих процессов чисто «земных» причин или необходимо привлечение космических катастроф типа вспышки недалеко от Земли и Солнца сверхновой звезды?

Научный, аргументированный ответ на эти и другие «трудные» проблемы теории эволюции будет дан, вероятно, лишь после того, как будет разработана некоторая новая обобщенно-пространственная характеристика самого биологического вида — во всей многогранности и целостности его органических связей с самыми различными биотическими и абиотическими компонентами окружающей его среды. Первые теоретические подходы к построению такого, можно сказать, существенно «биологического» пространства органического вида мы находим также у Э. Майра, когда он очень «геометрично» объясняет, почему вообще все живое существует в виде диск-

ретных, резко и качественно отличных друг от друга видов и типов животных и растений.

Представим себе, говорит он, совершенно противоположную ситуацию — органический мир, в котором существуют постепенные переходы между всеми самыми различными особями — своего рода непрерывный биологический «континуум» живого. Но подобная «континуальная» органика будет неспособна к прогрессивной эволюции, к постепенной и постоянно совершенствующейся адаптации к окружающей среде. Если даже какая-то особь случайно окажется (в данных условиях) шагом вперед в этом направлении, она не сможет передать свои ценные качества потомству, поскольку она способна спариваться со всеми, более или менее подобными ей существами. Ее довольно совершенный в каком то отношении комплекс генов будет неизбежно утрачен уже в следующем поколении. Для их сохранения необходим специальный защитный механизм, запрещающий разрушение таких особо ценных — хорошо адаптированных генных комплексов и разрешающий спаривание только особей, уже имеющих подобные же отличительные, приспособительно выгодные в данный момент качества.

Так миллиарды лет назад природа нашла решение труднейшей проблемы — длительного сохранения случайно найденных, наиболее совершенных, особенно хорошо адаптированных к данным природным условиям генных систем. Это произошло благодаря переходу от непрерывной самовоспроизводящейся смеси более или менее похожих друг на друга белковых и нуклеиновых молекул к дискретным, по своим реакциям все более и более отличающимся друг от друга комплексам таких молекул. Каждый из таких комплексов мог обмениваться генетической информацией уже только с себе подобными. Различие видов возникло, следовательно, уже на уровне самых простых белково-нуклеиновых капель, поскольку только такая репродуктивная изоляция лучших, наиболее ценных в эволюционно-приспособительном отношении генетических комбинаций обеспечила самую возможность дальнейшего прогрессивного развития всего органического мира.

Общим итогом описанных процессов явилось специфически эволюционное «обучение» живых систем самыми различными природными условиями, сменявшимися

друг друга на Земле. Ведь, по Э. Майру, каждый вид, хотя и представляет собой отличную от других комбинацию генов, управляющую единственной в своем роде эпигенетической системой, и всегда занимает единственную же в своем роде нишу, выработав в ней свой собственный, специфичный ответ на требования среды, — всегда вместе с тем и в определенной степени полиморфен, политипичен. Благодаря этому он способен не только приспособляться к небольшим изменениям и колебаниям окружающей его среды, но и в некоторых случаях, особенно на границах среды своего обитания, — выделять локальные популяции, нащупывающие пути продвижения в новые ниши. Такие пограничные локальные популяции, особенно богатые самыми различными случайными наборами генов, имеющие наибольшую генетическую изменчивость, пластичность, в любой момент могут обзавестись такой особенной комбинацией генов, которая сформирует особенно приспособленную к природным условиям соседней, незанятой экологической ниши эпигенетическую систему.

Определенные результаты таких — часто безуспешных, а иногда, очень редко, удачных попыток проникновения живых организмов в новые экологические ниши мы и наблюдаем сейчас.

5.3. Пространства самовоспроизводящихся систем фон Неймана

Методологический анализ различных подходов к установлению единства современной физики и биологии показывает, что дальнейший прогресс в этой области будет в немалой степени зависеть от строгой логико-математической экспликации понятия самовоспроизводящейся и самоусложняющейся системы.

Складывающаяся здесь ситуация во многом аналогична ситуации с историей картографического изучения Земли. Первые, чисто локальные и даже первые кругосветные путешествия еще можно было какое-то время совершать, имея только примитивные географические карты, никак не учитывающие сферичность фигуры Земли.

Однако строгое и точное картографирование всего земного шара принципиально невозможно без математической разработки сферической геометрии и установле-

Ния вполне определенных правил проектирования сферы на плоскость,— причём таких, чтобы возникающие при подобном проектировании искажения реальных размеров и особенно расстояний были бы наименьшими. (Или, по крайней мере, чтобы наибольшие искажения были локализованы только в определенных, наиболее редко посещаемых областях, например у полюсов — в случае известной, ныне чаще других употребляемой проекции Меркатора.) Наша аналогия (по-видимому, благодаря ее топологической специфике) может быть продолжена и далее, если мы проектирование Земли на плоские листы бумаги уподобим физико-химическим методам изучения живого, а, скажем, основные пути биохимических метаболических трансформаций веществ в нем — параллелям и меридианам.

В этом случае, при попытке нарисовать общую картину всего органического мира с помощью понятий только физики и химии, мы получим, возможно, высокую точность и полноту отображения локальных процессов жизни — при полной невозможности понять, каким образом возникает столь удивительная координация тысяч и тысяч биохимических метаболических реакций. Все они в конечном счете оказываются направленными к одной-единственной цели — самовоспроизведению основных биологических структур данного организма — подобно тому, как на сфере все меридианы оказываются сходящимися к двум полюсам, тогда как любая попытка получить этот результат на плоскости приводит только ко все более расходящимся друг от друга прямым линиям.

Вопрос о том, что все дело здесь заключается в существенном отличии пространства биологических форм движения материи от обычного — евклидова пространства физики и химии был поставлен еще в 20-х годах нашего столетия В. И. Вернадским. Он уже в то время неоднократно подчеркивал, что реальная биосфера Земли отнюдь не имеет характер однородной и изотропной структуры, приписываемой ей обычной — «физико-химической» трактовкой реального биологического пространства. Напротив, вся она пронизана гигантскими круговоротами и довольно устойчивыми циклами движения энергии и таких веществ, как кислород, азот, углекислый газ, вода и другие компоненты самых разнообразных

органических соединений. Причем обязательное наличие этих циклов и круговоротов в почти каждой точке биосферы является необходимым условием самого существования жизни на Земле. Дальнейшее же их усложнение и дифференцировка — предпосылка (и вместе с тем — порождение) неуклонного эволюционного прогрессирования всего органического мира в целом.

Последующие годы добавили много нового и интересного в этом плане, но, к сожалению, только эмпирического материала — начиная от установления устойчиво функционирующих траекторий движения специфических веществ, энергии и информации во всех молекулярных структурах каждой живой клетки у любого организма и кончая кратко описанной выше «креодичностью» — устойчивой канализованностью эмбриогенетического развития и даже длительной макроэволюции всех живых существ по К. Уоддингтону. Однако теоретически объяснить обязательное наличие таких стабильных траекторий, циклов и круговоротов вещества, энергии и информации в пространстве, занимаемом живыми системами, по нашему мнению, мы получаем возможность только сейчас, и многие существенные детали и подробности формирования подобных процессов только еще предстоит исследовать в плане теоретического, предсказательного объяснения, а не просто чисто эмпирической констатации.

Это можно будет осуществить, привлекая к рассмотрению всей совокупности физико-химических и иных процессов на каждом уровне организации живого логико-математическую экспликацию-модель самовоспроизводящейся (и самоусложняющейся) системы, предложенную в 50-х годах нашего века Дж. фон Нейманом. Именно она, по нашему мнению, является ныне аналогом сферической геометрии из приведенного выше примера с точным картографическим изучением Земли. Теперь, нам кажется, каждое достаточно общее и глубокое понятие теоретической биологии должно быть обязательно исследовано с точки зрения его поведения при проектировании самовоспроизводящихся систем фон Неймана на обычное (физико-химическое) евклидово пространство и обратно.

И в этом отношении, как нам представляется, только понятия, сохраняющие при подобном проектировании определенный «инвариантный» теоретический смысл,

имеют право на дальнейшее существование и углубленную разработку в будущих общих основаниях всего современного естествознания.

Фон Нейман получил свою логически строгую экспликацию понятия самовоспроизведения, развивая далее и обобщая идеи об универсальных логико-математических машинах А. Тьюринга. Последние, как известно, представляют собой наиболее общие, абстрактные модели любого рода автоматических систем, способных по заранее установленным, строго (или вероятно) детерминированным правилам перерабатывать записанные в определенном алфавите данные на их входе в некоторые новые данные (новую информацию) на их выходе. Обычно, для упрощения математических построений, машина Тьюринга представляется связанной с внешним миром только бесконечной (бумажной) лентой, на которой в каждый данный момент машина обзревает и воспринимает только один какой-то определенный участок — одну клетку.

Каждая клетка («внешнего мира») может содержать один из конечного числа символов алфавита, специфического для данной конкретной машины, и элементарное действие («шаг» машины, по Тьюрингу) определяется только этим, воспринимаемым в данный момент символом и состоянием машины в этот момент времени. Эта «конфигурация» определяет, на какой новый символ заменит машина старый, уже воспринятый в данной клетке, вправо или влево на одну клетку переместится лента и, наконец, в какое новое состояние перейдет машина в следующий момент времени. (Общее число таких возможных состояний машины, определяющих ее различные реакции на различные «воздействия» со стороны внешнего мира — посредством символов на ленте, — предполагается конечным и специфичным для данной конкретной машины, в то время как лента — бесконечной как в одну, так и в другую сторону.)

Как известно, еще в 1936 г. А. Тьюринг смог показать, что существуют машины, обладающие фундаментально важным свойством универсальности — способностью имитировать работу любой другой конкретной машины, если только их снабдить заранее соответствующим образом подготовленной «программой» — определенной последовательностью символов на ленте. Эта

программа заставит универсальную машину *выполнять* все действия, которые должна была бы выполнять *данная* конкретная машина. Именно этот, чисто теоретический в свое время результат, казавшийся тогда не имеющим отношения к практике, и послужил в 1945—1946 гг. исходным пунктом известного предложения фон Неймана: помещать программу операций первых электронных счетных машин в их память закодированной в виде чисел. Это сразу же превратило создававшиеся только для конкретных баллистических расчетов специальные устройства в универсальные вычислительные машины.

В незаконченной работе «Теория самовоспроизводящихся автоматов» фон Нейман¹⁹ выявил глубокий изоморфизм логико-математической структуры автоматов вычислительных и автоматов конструирующих — способных по заранее заданной программе осуществлять постепенную сборку других автоматов. Он очень подробно и обстоятельно рассмотрел для этого двумерную модель систем, способных к самовоспроизведению (и самоусложнению). Модель представляет собой огромную плоскость, занятую элементарными квадратными ячейками — клетками, простейшими «строительными кирпичиками» системы — примитивными автоматами, способными находиться в одном из 29 основных состояний (и под влиянием определенных последовательностей сигналов, воспринимаемых от соседних клеток, переходить в какое-то другое из 29 состояний).

Фон Нейман смог показать, что в подобной системе достаточно большой пространственной протяженности можно осуществить физическую реализацию универсальной вычислительной машины Тьюринга.

При этом все логические операции, необходимые для функционирования последней, будут осуществлять определенные «блоки» — устойчиво работающие совместно комбинации исходных элементарных автоматов — ячеек. Роль ленты же будет исполнять некоторая линейная последовательность «внешних» по отношению к машине клеток, различные состояния которых и используются для кодирования различных символов конкретного алфавита данной машины Тьюринга на ее входе (и выходе).

¹⁹ Дж. фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М., 1971.

Таким образом, на данном уровне абстракции все различие автоматов вычислительных и автоматов конструирующих превращается в различие конечной судьбы импульсов на выходе универсальной машины Тьюринга. В вычислительной машине они только записываются в виде изменения состояний линейной последовательности «внешних» клеток, в то время, как в конструирующей машине они могут быть превращены в особые «специальные импульсы». Эти последние, будучи передаваемы по длинной «конструирующей руке» в большую новую, ничем доселе не занятую область покоящихся, невозбужденных клеток, последовательно так меняют состояния последних, что из них начинает расти некий новый автомат.

Описанная нами теоретическая конструкция позволяет, следовательно, перенести доказательство Тьюринга о существовании универсальных вычислительных автоматов на область автоматов конструирующих — доказать существование универсального конструирующего автомата, что и было сделано фон Нейманом. А отсюда уже рукой подать и до самовоспроизведения: ведь достаточно снабдить наш универсальный конструирующий автомат описанием — на ленте машины Тьюринга — самого себя — и самовоспроизводящаяся система будет готова.

При одном условии, — если мы каким-то образом сумеем преодолеть неизбежно возникающий здесь логический парадокс самоописания, который мы для простоты приведем здесь в форме редукции к дурной бесконечности: описание самовоспроизводящегося автомата на ленте машины Тьюринга должно обязательно содержать в себе и описание этой ленты, т. е. описание этого описания, которое в свою очередь должно обязательно содержать описание этого описания описания и т. д. до бесконечности. Фон Нейман столкнулся с этой проблемой еще в самом начале 50-х годов нашего века и уже тогда предложил правильный способ ее решения: для того, чтобы самовоспроизводящийся автомат стал реальностью, необходимо, чтобы материальный носитель его описания (лента универсальной машины Тьюринга) имел физическую природу, отличную от физической природы исходной самовоспроизводящейся системы.

Соответствующие разделы книги фон Неймана, написанные, по крайней мере, за 10 лет до установления

информационно-описательной роли нуклеиновых кислот в процессах воспроизведения «живых» белковых молекул, читаются ныне как теоретическое предварение крупнейшего научного открытия эпохи. Вместе с тем, здесь фон Нейман дает, как можно думать, единственное имеющее надежду на успех объяснение этой удивительной особенности живого всегда быть связанным, по крайней мере, с двумя — вещественным и информационным — уровнями материальной организации, о чем уже говорилось выше.

Теперь одной из главных задач всей теоретической биологии становится, по нашему мнению, тщательное и всестороннее исследование физико-химических процессов, совершающихся на самых различных уровнях организации живого, с точки зрения их «вложенности» не в обычное, евклидово пространство, а в пространство самовоспроизводящихся (и самоусложняющихся) систем фон Неймана. Последнее резко отличается от первого своей существенной топологической нетривиальностью: через каждую почти элементарную клетку — автомат занимаемой им области пространства непрерывно движутся анизотропные потоки импульсов. Они образуют так называемые связующие и временные петли, которые за каждый цикл самовоспроизведения обязательно или «считывают» или видоизменяют (или делают и то и другое много раз подряд — в центральных ячейках) состояние каждой клетки пространства самовоспроизводящейся системы.

Было бы очень заманчиво установить связи этих анизотропных и топологически очень сложных потоков передачи информации и преобразований состояния с наиболее вероятными фейнмановскими траекториями движения составляющих живые системы квантовых корпускул. Это в недалеком будущем, несомненно, поможет более глубоко и содержательно понять как фундаментальную внутреннюю общность живого и неживого, так и конкретные, физические причины возникновения столь существенных различий между ними уже на уровне молекул.

Неменьшие теоретические перспективы сулит интерпретация с помощью таких устойчивых анизотропных потоков (информации и преобразований состояния в пространствах фон Неймана) установленной К. Уоддингто-

ном креодичности путей движения почти всех составляющих живое материальных структур. И на уровне клеточной дифференцировки, и на уровне более поздних стадий эмбриогенеза и даже, по-видимому, на уровне «архетипов» эволюции — на самых различных уровнях организации живого применение пространств самовоспроизводящихся структур фон Неймана позволит соответствующие частные и эмпирические закономерности сформулировать допуская дальнейшее математическое уточнение образом.

Но здесь необходимо подчеркнуть, что в данном случае никто не собирается «сводить» биологию и другие науки к математике (или кибернетике). Последняя принципиально не может дать решения конкретных проблем биохимии, биофизики, генетики, цитологии и т. п. Но зато новые абстрактные математические структуры, в частности структуры самовоспроизводящихся автоматов фон Неймана, улавливают и связывают между собой такие неожиданные стороны и аспекты в проблематике этих наук, позволяют взглянуть на них со столь новой и необычной точки зрения, что раскрывают новые возможности их уточнения и решения, сопоставления их в одном контексте с гораздо более фундаментальными и важными проблемами других наук. А более глубокое решение всех их вместе не только обеспечивает решение старых, малых и больших проблем частных наук, но и сообщает всему нашему знанию гораздо большую цельность, стройность и глубину проникновения в окружающий нас мир.

Подобно тому, как создатели неевклидовых геометрий — Н. И. Лобачевский и К. Гаусс, Я. Бойаи и Б. Риман не решали и не могли решить конкретных проблем физики тяготения и космологии, а только открыли те новые «пространства возможностей», с помощью которых эти проблемы были решены позднее А. Эйнштейном, К. Шварцшильдом, А. А. Фридманом и другими, точно так же создатели современной математики, в частности теории самовоспроизводящихся автоматов, не собирались и не собираются решать конкретные проблемы генетики, биофизики, теоретической биологии и т. д. Они делают другое, но очень важное для этих и других наук дело: выявляют те новые и специфические понятия, категории и закономерности, которые позволяют применить

математические методы к таким сторонам и соотношениям окружающей действительности, изучаемым этими науками, которые раньше считались для этих методов недоступными.

По всей вероятности, мы являемся современниками поворота и самой математической науки в сторону большего учета в постановке ее проблем и методах их исследований приемов мышления и основных идей биологических и других наук, а не только физики и инженерного дела, как было до сих пор начиная с эпохи Возрождения. Такие категории математики, как величина, пространство, функция и т. д., очень хорошо «улавливают» основные законы механики, астрономии, физики и химии, но в биологии они уже не «захватывают» наиболее существенные стороны процессов жизни — последние гораздо более глубоко описываются с помощью таких категорий, как отображение, информация, алгоритмы, автомат, структура и т. д. И далеко не случайно, что именно эти последние категории в наши дни все глубже и глубже проникают в самые различные области самой «чистой», самой абстрактной, казалось бы, науки, какой является математика.

**ВОЗМОЖНАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ БАЗА
ТЕОРЕТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ФИЗИКИ
И БИОЛОГИИ**

**§ 1. Пространства динамических перестроек структур
и усложнения организации**

1.1. Класс зеноново-евдоксовых методологических проблем

Со времени Галилея и Ньютона теоретическое естественное знание связывает идеал научного объяснения некоторого фрагмента материальной действительности с выявлением определенного типа абстрактных математических пространств, максимально приспособленных для теоретического описания всех качественных и количественных особенностей данного круга явлений. Так любые, сколь угодно сложные и «хитрые» сочетания механических движений мы обязательно «помещаем» в обычное трехмерное евклидово пространство. Любые, самые «запутанные» электромагнитные явления и процессы — в десятимерное расслоенное пространство, состоящее из «слоя» — шестимерного пространства векторов напряженности электрического и магнитного поля в каждой точке — и базы — обычного трехмерного евклидова пространства плюс время. Любые состояния или процессы атомного мира мы связываем с определенными векторами в бесконечномерном гильбертовом пространстве или переходами между ними. Перечисленные математические пространства навсегда вошли в золотой фонд науки и практики. Поэтому интересующие нас абстрактные пространства общих оснований всего современного естествознания должны будут обязательно в некотором предельном, крайнем случае содержать и эти математические структуры уже ставших в наше время классическими областей точных наук.

Выявление наиболее интересных математических структур — для теоретического описания качественного

своеобразия данного круга явлений — начинается, конечно, уже на самом первом — феноменологическом, эмпирическом этапе развития данной науки. Ясно, однако, что выбор тех или иных кривых и функций для максимально точного описания всех особенностей и деталей какого-то явления, разумеется, прежде всего — дело специалистов и вряд ли может заинтересовать философа. Но уже второй, модельный этап развития науки, когда одни какие-то объекты объявляются фундаментальными, первичными, а некоторые другие явления стараются как-то вывести, объяснить с помощью этих первых, фундаментальных, — обычно вызывает острейшие философские дискуссии — относительно адекватности модели, допустимости данного уровня абстракции, идеализации и т. п.

За недостатком места, мы совершенно не затронем здесь эти интереснейшие проблемы и перейдем сразу же к самому главному, третьему этапу развития научного знания — построению полной теории данного круга явлений. Он-то и вызывает обычно наибольшие философские тревожения — ведь теория претендует на описание всех явлений данного уровня строения материи. Всеобщность и необходимость утверждений истинной научной теории приводит нас к одному из фундаментальных классов методологических, философских проблем. Впервые человечество столкнулось с этим классом, по-видимому, еще при обсуждении апорий Зенона. Если мы проанализируем последние с интересующей нас точки зрения выявления теоретических оснований механики, то очень скоро убедимся, что Зенон вопрошал как раз о том, может ли наше обычное, наглядное «трехмерное» пространство «вместить» в себя все состояния механического движения любых известных тогда объектов.

Ответ на этот далеко не тривиальный — особенно в то время — вопрос дал только величайший математик древности Евдокс — ученик и идейный противник Платона. Специально для того, чтобы обычное геометрическое пространство могло стать «вместилищем» любых, сколь угодно «хитрых» состояний механического движения — например, сколь угодно «мало» отличающихся от исходного положения, — Евдокс ввел в геометрию совершенно новую и фундаментальную аксиому, носящую обычно по ряду исторических причин не его имя, а имя

Архимеда. Только эта аксиома позволяет разрешить апорию Зенона — доказать, что Ахиллес догонит черепаху, что движение возможно и описывается законами ньютоновской механики.

Подобные дискуссии повторялись аналогичным образом каждый раз при создании всякой новой фундаментальной естественнонаучной теории. К ним относятся многочисленнейшие попытки создать механические модели электромагнитной теории Максвелла, механические «объяснения» эффектов теории относительности, наконец, продолжающиеся и по сей день поиски механической, «причинной» интерпретации квантовой механики. Для всех таких дискуссий в плане чисто методологическом также характерны прежде всего сомнения в пригодности определенного класса математических пространств для адекватной экспликации качественных особенностей движения материи на данном уровне ее строения.

В наши дни этот класс методологических проблем снова выдвигается на одно из первых мест в связи с философским анализом путей построения двух главнейших естественнонаучных теорий нашего времени — теории элементарных частиц и теоретической биологии. Достаточно ли для создания последних гильбертова пространства квантовой механики и общих римановых многообразий теории относительности как наиболее глубокого математико-концептуального базиса всего современного естествознания или же для этого понадобятся некоторые новые, гораздо более общие математические пространства — так стоит проблема теперь, в начале 70-х годов XX века. Что касается теории элементарных частиц, то сейчас физиками-теоретиками уже доказаны строгие математические теоремы, которые требуют при создании, например, теории взаимодействующих элементарных частиц выхода даже за рамки гильбертовых пространств (так называемая теорема Хаага).

Что касается теоретической биологии, то такие ученые, как Е. Вигнер¹ и К. Уоддингтон, Г. Патти и В. Эльзассер также неоднократно высказывали сомнения в способности даже квантовой механики объяснить удивительную организованность и тем более «теленомичность» биологических процессов. Особенно это относит-

¹ Е. Вигнер. Этюды о симметрии. М., 1971, стр. 160.

ся к процессам, происходящим на молекулярном уровне и связанным, например, с аллостерическим синтезом специфических энзимов или с последовательностью биохимических реакций на начальных стадиях эмбриогенеза. По всем этим причинам мы решаемся привлечь внимание специалистов к совершенно новой возможности адекватного и единого разрешения проблемы организации материи как в области сверхвысоких (до 10^{20} электронвольт!) энергий в виде спектроскопического многообразия элементарных частиц, так и на противоположном конце энергетического спектра — в области концентрации энергии в доли электронвольта, характеризующих молекулярно-биологические процессы.

Речь пойдет об использовании в теоретическом естествознании — в качестве базового математического пространства, описывающего самые различные способы организации движущейся материи, — совершенно нового класса абстрактных пространств, введенных в науку только в середине нашего века А. Гротендиком. Эти пространства — так называемые общие схемы абстрактной алгебраической геометрии — представляют собой наиболее революционное изменение в наших взглядах на природу геометрической протяженности, предпринимаемое со времени Зенона и Евдокса. Дело в том, что даже самые искривленные и экзотические римановы пространства общей теории относительности, используемые сейчас, например, при анализе процессов гравитационного коллапса, локально, в бесконечно малой окрестности каждой точки, «устроены» все-таки очень просто. Все они представляют собой так называемые многообразия — пространства, «устроенные» в бесконечно малой окрестности каждой точки, как обычные евклидовы пространства, получающиеся из последних, так сказать, «склеиванием» из их бесконечно малых «евклидовых кусочков».

А. Гротендик первым решился взять в качестве таких локальных «кусочков» пространства, существенно, принципиально отличные от евклидовых «протяженностей», — так называемые спектры общих коммутативных колец, отличительной особенностью которых является то, что в определенных случаях все точки их некоторых подмножеств могут «сливаться», «склеиваться» вместе. Ю. И. Манин образно сравнивает наши геометрические

Познания до Гротендика со знанием только одного, низшего «уровня» точек пространства, на котором все точки последнего замкнуты, достаточно четко «отделены» друг от друга. Над этим же уровнем обычных, «евклидовых», замкнутых точек возвышается целая иерархия уровней, связанных с самыми различными способами «слипания» в некотором смысле строго определенных подмножеств этих замкнутых точек друг с другом в принципиально новые, так сказать, существенно неевклидовы точки.

Спектры коммутативных колец позволяют получить общие схемы Гротендика по тому же «рецепту», по которому общие римановы пространства получаются из евклидовых «протяженностей» — «складыванием» их из бесконечно малых окрестностей каждой точки. И при этом впервые в истории математики получается обширный класс пространств, обладающий существенно нетривиальной, отличной от обычной, топологией. Здесь следует подчеркнуть, что рассматривающиеся до сих пор пространства с необычной топологией были, как правило, слишком патологическими, так сказать, — всего лишь «опровержениями» всеобщности и универсальности обычной, тривиальной метрической топологии. И по этой причине в них не выполнялся столь существенный для любой их эмпирической интерпретации «принцип соответствия» — не было подмножеств, в которых в определенном предельном случае можно было бы ввести обычную, метрическую топологию. Теперь же общие схемы Гротендика впервые представляют возможность использования в естествознании очень необычно «устроенных» топологических пространств, но вместе с тем и «вмещающих» определенные подмножества точек, для которых справедлива обычная метрическая топология (на них, как известно, до сих пор «опирается» все точное, допускающее эмпирическую проверку на измерительных приборах естествознание).

С другой стороны, абстрактные пространства Гротендика, по-видимому, впервые предоставляют возможность для строго математического учета в современных естественнонаучных теориях столь характерной для биологических явлений «целостности», неразрывного единства определенного класса физико-химических процессов и объектов. В живых системах, как известно, последние

как бы «слипаются» в единый, не допускающий разложения на элементарные составляющие «клубок» событий, определенная целостность и гармония которых как раз и составляют «сущность» органической формы бытия материи и без которых живое, например, сразу же перестает быть живым. С нашей точки зрения, эта характернейшая особенность «организованности» жизни как раз и связана с «вступлением в игру» на грани живого существенно новых, гротендиковых структур реального физико-биологического пространства всякий раз, когда речь заходит о формах организации материи.

По нашему мнению, любые качественно своеобразные формы организации материи связаны с «возбуждением» определенного класса этих новых структур реального физико-биологического пространства. При этом далеко не случайно, что эмпирически «первые кусочки» подобного рода «пространственных» структур были получены в естествознании только тогда, когда последнее впервые серьезно занялось проблемой организации материи — теорией строения атома. Именно тогда была вскрыта озадачивающая физиков до сих пор полная эквивалентность во всех квантовых процессах точек пространства, в которых квадрат волновой функции равен некоторой постоянной величине. А с точки зрения Гротендика, в данном случае мы как раз сталкиваемся со «склеиванием» всех таких точек в принципиально новую, неевдоксову точку, к которой, например, понятие метрики, расстояния становится уже неприменимым. И известные, наблюдаемые ныне во многих экспериментах эффекты Эйнштейна — Подольского — Розена — это, упрощенно говоря, процессы, происходящие с участием этих «слипшихся» точек. В обычном метрическом пространстве — и даже во времени — эти точки могут отстоять одна от другой довольно далеко и тем не менее процессы в них будут определенным образом строго коррелированы друг с другом.

В этом смысле явления жизни представляют собой сложную пространственную и временную корреляцию определенных физико-химических процессов, приобретающих свою «органическую целостность» как раз благодаря «вступлению в игру» особых структур «склеивающихся» пространственно-временных точек современной алгебраической геометрии. Способы их последователь-

ного «возбуждения» при изменении организации материи предстоит еще исследовать — начиная со «слипшихся» структур элементарных частиц (с их постоянством масс, зарядов, спинов и других характеристик данного их вида) и кончая целостностью восприятия определенных совокупностей точек (гештальта) живыми организмами.

1.2. Возможная экспликация понятий структуры и организации

С точки зрения методологии очень существенно, что абстрактные схемы Гротендика уже сейчас позволяют провести некоторое уточнение и вместе с тем разграничение (дифференциацию друг от друга) таких принципиально важных для современной науки философских категорий, как структура и организация. Как известно, оба эти понятия связаны с устойчивыми, инвариантными характеристиками абстрактных систем. Однако первое, по-видимому, имеет в виду прежде всего пространственные конфигурации, геометрические аспекты, второе же — устойчивость определенных характеристик или процессов с течением времени. Организация в этом смысле представляет собой структуру, протяженную во времени, структуру, имеющую дополнительную устойчивость еще и по временной координате.

Нам кажется, что теперь общие схемы Гротендика позволяют «продолжить» эти весьма общие качественные соображения до строгих и вместе с тем достаточно всеобщих математических моделей. Структура при ее интерпретации на языке схем Гротендика характеризует тогда прежде всего «склеивание» друг с другом, «слипание» вместе в определенных системах некоторых подмножеств точек пространства и только. Точки временной оси, различные моменты времени, здесь вообще не принимаются во внимание и поэтому не рассматриваются. Организации — это уже более сложный тип «склеивания» определенных подмножеств точек пространственно-временного континуума. Она обязательно включает в себя и «слипание» вместе некоторых точек оси времени. Это имеет своим физическим результатом в простейшем случае сохранение определенной структуры во времени. В общем случае мы получаем строгую корреляцию таких структур в различные моменты времени — обязательное протекание некоторых процессов друг за другом

в определенной, строго фиксированной последовательности.

Молекулярная биология — это прежде всего организация, строго определенная корреляция в пространстве и во времени многих и многих тысяч физико-химических процессов с участием миллионов самых различных атомно-молекулярных структур.

Каков физический смысл «слипания» точек вместе, их «склеивания» в существенно новых, гротендиковых пространствах общих схем абстрактной алгебраической геометрии? Это, по-видимому, появление некоторой инвариантной структуры интересующих нас объектов. Они теперь принадлежат как бы одной большой общей точке, обычные евклидовы координаты отдельных компонентов которой могут быть очень различными и далеко удаленными друг от друга, но все физические взаимодействия «внутри» которой теперь передаются, так сказать, «мгновенно» (например, для всех электронов во всей Вселенной мгновенно, уже в самый момент их образования, законами природы детерминировано, какой именно у них должен быть электрический заряд, масса и т. д.).

Эти объекты, грубо говоря, становятся «соседями» очень различно расположенных (например, в отношении удаления от некоторого начала координат) обычных евклидово-евдоксовых точек. Например, в известных опытах по экспериментальному обнаружению так называемых квантовомеханических эффектов Эйнштейна — Подольского — Розена образованная частицами высоких энергий электронно-позитронная пара разлетается (без взаимодействий с другими корпускулами) в различных направлениях. Один из компонентов пары может, вообще говоря, улететь даже в другую галактику, но как только спиновое состояние другого компонента строго фиксируется в определенном эксперименте, состояние первого мгновенно становится столь же определенным. Причем именно мгновенно: опыты подтвердили именно это для достаточно больших расстояний.

Такого рода квантовые эффекты и могут рассматриваться как основа характерной для живых систем организованности многих и многих молекулярно-биологических процессов. Эти процессы обычно состоят из десятков тысяч сложнейших биохимических реакций, время, место и скорость которых точнейшим образом скоордини-

рованы в каждой клетке (а нередко и во всем организме, как это имеет место, например, на начальных и последующих стадиях эмбриогенеза). Конечно, физически необходимое объяснение таких «высших» явлений организации как последовательность биохимических реакций при эмбриогенезе сейчас может быть поставлена только как далекая, перспективная цель исследований. Однако схемы Гротендика уже сейчас могут очень многое дать в математическом моделировании «простейшей клеточки» всех явлений такого рода. Особенно это касается аллостеричности синтеза большинства органических молекул — зависимости этого синтеза от точной пространственной конфигурации участвующих в нем структур. Эта конфигурация в свою очередь определяется наличием в окружающей среде определенных групп ионов, а также заполнением определенных «ключевых пазов» синтезирующих молекул строго определенными атомными (или ионными) комплексами.

Вместе с тем можно считать, что пространства схем Гротендика находятся, образно говоря, «внутри» нашего обычного наглядного пространства-времени: они — всего лишь различные возможности «склеивания», «слипания», объединения вместе определенных подмножеств его обычных, в евклидовом смысле очень четко отделенных друг от друга, точек. В свое время Евдокс обратил внимание на взаимную отдельность точек, их «отделенность» друг от друга — возможность всегда поместить между двумя несовпадающими точками еще и третью (как утверждает одно из важнейших следствий его аксиомы).

Сделал он это, конечно, не по своему личному произволу или капризу — к этому его обязывало все большее и большее количество опытных фактов о механическом движении — простейшей, так сказать, наименее организованной форме материального движения. Последнее всегда затрагивает, наглядно говоря, всегда «возбуждает» только такие структуры реального физического пространства, которые «подчиняются», описываются аксиомой Евдокса — Архимеда, так что без ее явной формулировки и всестороннего использования, например, в методе «исчерпывания» становление механики как математически формулирующей свои законы науки было бы просто невозможным. Действительно, уже апории

Зенона ставят вопрос о том, что пространство, «вмещающее» в себя все механические движения, должно обязательно обладать следующим свойством: между любыми его двумя различными точками всегда можно найти на соединяющей их прямой по крайней мере еще одну точку, расположенную «между» ними и четко отделенную (некоторыми окрестностями) от них.

Подмножества точек, которые в схемах Гротендика в определенном смысле «слипаются», «склеиваются» вместе в одну, незамкнутую точку, не могут быть произвольными. В правильном выборе таких подмножеств, собственно говоря, и состояла основная трудность введения этих новых математических пространств. Дело в том, что произвольное множество точек становится топологическим пространством только в том случае, если в нем выделена такая система подмножеств исходных точек, к которой обязательно принадлежат любое объединение подмножеств нашей системы и любое их пересечение (а также само исходное множество точек плюс пустое множество).

Так что «слипаться» любым произвольным образом точкам схем Гротендика нельзя — любые их подмножества должны удовлетворять этим кратко описанным выше аксиомам топологических пространств. А. Гротендик, собственно говоря, первым последовательно провел в жизнь во всей алгебраической геометрии довольно старую идею о том, что подмножества точек пространства, соответствующие так называемым идеалам некоторого абстрактного кольца, лучше всего задают искомые «слипающиеся» подмножества точек. Этих идеалов обычно достаточно много, так что они могут выделить конфигурацию почти любого интересующего нас типа (пространственный образ почти любого объекта!). С другой стороны, их можно безбоязненно (сколько угодно раз и совершенно произвольно) объединять вместе и выделять общую часть (пересечение) двух любых таких подмножеств без того, чтобы в результате некоторой последовательности этих операций получилось подмножество, не принадлежащее нашей выделенной системе (топологии) — не соответствующее никакому идеалу.

Здесь следует подчеркнуть, что чаще всего задаваемая на схемах исходная, базовая топология — так называемая топология Зарисского может оказаться слиш-

ком «грубой» для математического моделирования определенных типов структур и организаций. Выделяемый ею класс подмножеств точек данного множества может содержать — наряду с интересующими нас конфигурациями — также и подмножества, не имеющие никакого отношения к рассматриваемой проблеме. В таком случае на схеме придется ввести другую, более «тонкую», так называемую «эталонную» топологию, также предложенную А. Гротендиком, которая уже позволяет «оставить» в классе подмножеств (и их отображений) данного множества, задающем топологию, только те из них, которые имеют отношение к интересующей нас задаче².

В этом плане уже сейчас предпринимаются попытки перетолковать весь вычислительный аппарат квантовой механики с точки зрения теории схем Гротендика. В качестве исходного положения принимается гипотеза о том, что все точки, в которых квадрат волновой функции равен некоторой постоянной, задают некоторый идеал в кольце функций и могут быть рассматриваемы как специализация некоторой неевдоксовой точки. Уравнение Шредингера в этом случае истолковывается как результат введения в кольцо функций нильпотентов. Тогда получается объяснение и сам способ «получения» конкретного вида этого уравнения — заменой соответствующих физических величин в соотношении между энергией и импульсом определенными дифференциальными операторами.

1.3. Проблема локализации и индивидуализации объектов

Пространства Гротендика позволяют также более точно поставить — и на каком-то последующем этапе научного развития, возможно, решить — еще одну трудную методологическую проблему современного естествознания, принципиально важную как для физики элементарных частиц, так и для теоретической биологии — проблему строгой индивидуализации и точной локализации их наиболее типичных объектов. Для физических объектов окружающего нас мира проблема эта — достаточно строгой индивидуализации (посредством однозначной

² Д. Мамфорд. Проблемы модулей и их группы Пикара. — «Математика», 1969, т. 13, № 2, стр. 26.

локализации) — была уже решена такими мыслителями прошлого, как Парменид, Зенон, Евдокс, Лейбниц. Она вошла в качестве «самоочевидной» предпосылки во все учебники по естествознанию и в самые последние годы была даже экстраполирована — совершенно незаконным, впрочем, образом — на новые области действительности (типа виртуальной «шубы» вокруг элементарных частиц или квантовых процессов в молекулярно-биологических системах).

Классическое решение этой проблемы справедливо только для простейшего случая — наиболее «слабо организованных» объектов — объектов классической физики. В них основная форма движения — механическое перемещение — почти никак не влияет и не изменяет их собственную индивидуальность: движение маятника, например, совершенно одинаково в любой точке земного шара. Между тем как уже в случае простейших типов материальной организации, например в химических атомах или молекулах, строгая индивидуализация составляющих их элементов классическим методом (точной локализацией в евклидовом пространстве) сразу же приводит к известным парадоксам квантовой химии — делокализации и даже «коллективизации» электронов, «резонансу» индивидуальных химических структур и т. д.

И чем «выше» идем мы в направлении усложнения организации интересующих нас объектов, тем более проблематичной становится их индивидуализация посредством одной только пространственной локализации.

Можно даже утверждать (с известной долей осторожности), что именно степень трудности, с которой «удаётся» строго индивидуализировать объект одним только методом его точной локализации в евклидовом пространстве, является своего рода мерой его «включённости» в некоторую организацию. В этом смысле постоянно подчёркиваемая биологами (Дж. Бернал, К. Уоддингтон, Г. Патти и другие) невозможность связать явления жизни только с определенной замкнутой группой белковых молекул или организмов представляется следствием именно достигнутой последними высокой степени организованности. А трактовка биологического прогресса как все большего усложнения отношения живого с внешним миром на путях их все более глубокого взаимопроникновения (Северцов — Шмальгаузен) оказывается

другой стороной процесса повышения биологической организации, в ходе которого «делокализованность» живого, распространенность его на все большие области физического пространства непрерывно возрастает.

Схемы Гротендика позволяют придать всем этим чисто качественным (и в общем-то довольно давно известным, но пока что никак не отраженным в математико-алгоритмическом аппарате точного естествознания), соображениям достаточно однозначный геометрический смысл.

Индивидуализировать объект в этих более общих математических пространствах можно не только старым, чисто механическим методом, но и некоторым новым, более общим образом — задавая операционально выполнимое отображение исходного кольца, определяющего данную схему, в некоторое поле.

Именно такая, существенно «неклассическая» индивидуальность характерна для квантовых объектов. Например, для электронов в известных опытах Девиссона — Джермера по дифракции на кристаллической решетке она определяет все отличия микрокорпускул от макроскопических тел. В результате получаем трактовку квантовой механики как теории движения материи в «пространствах» схем Гротендика с учетом нильпотентов в исходных (базовых) кольцах. Сейчас было бы преждевременным входить в технические детали и подробности этой трактовки, однако ее общеметодологические аспекты, касающиеся общей проблемы локализации и индивидуализации наиболее типичных объектов современного естествознания, обсудить следует.

Ни на чем не основанное и, по нашему мнению, приводящее к неразрешимым тупикам перенесение в микромир чисто макроскопических способов локализации и индивидуализации объектов одинаково бесперспективно как в теории элементарных частиц, так и в квантовой биохимии. Представление о «точечной» локальности полевых взаимодействий — вот главный и общепризнанный источник всех трудностей современной квантовой теории поля. В квантовой биохимии, мы полагаем, ему соответствует представление о том, что каждый атом, например, углерода в сложной аллостерической белковой молекуле может быть локализован только единственным, восходящим еще к Зенону и Евдоксу способом — заданием его

точных и однозначных метрических координат. Однако, как известно, уже довольно простая молекула бензола ставит под очень большое сомнение законность всех этих наших экстраполяций в микромир старых способов локализации объектов.

Проблема, эта, конечно, очень большая и сложная. Сейчас, по-видимому, мы только еще приближаемся к ее достаточно строгой и универсальной постановке. В частности, медленное и постепенное освобождение естествознания от определяющей роли евдоксовых метрических структур локализации должно, по нашему мнению, идти следующим путем. Мы должны, в каждом конкретном случае, в котором, на первый взгляд, отказ от евдоксовой локализации объектов разрушает самую возможность про-

«зацепле... фундаментальных
(онтолог... метрических) струк-
тур, — ... определенным
«пере... локализация

объек... да-

Сп... да-

ют, ч... да-

проце... да-

природ... да-

именно моме... да-

ных точках на... да-

при вторжен... да-

пиально важи... да-

антитела дол... да-

этих чужерод... да-

время», пока они... да-

До сих пор, д... да-

ских структур, еди... да-

ной, универсальной... да-

ственнейших для да... да-

«все время» было при... да-

классической физики с... да-

точек или отрезков метр... да-

Таким образом, взятые «нап... да-

ханики и электродинамики пр... да-

ве-времени в биологии могут... да-

«строительных лесов», которые по... да-

теоретической биологии, неизбежно бу... да-

§ 2. Универсальные операциональные процедуры

2.1. Класс декартово-эйнштейновых проблем

Следующим типом методологических проблем, решение которых необходимо при построении новой фундаментальной естественнонаучной теории, является установление однозначных операциональных, т. е. реализуемых в некоторой экспериментальной процедуре, правил сопоставления элементов избранного математического пространства определенным элементарным фактам данного фрагмента материальной действительности. Итак, при разрешении этого класса методологических проблем речь идет о нахождении среди всего многообразия природных и искусственных (вызываемых человеком в естественнонаучном эксперименте) материальных процессов некоторого особенного процесса. Он должен быть предельно простым и вместе с тем абсолютно универсальным, чтобы играть роль всегда действенного правила, позволяющего совершенно однозначно соотносить некоторый элементарный материальный объект со вполне определенным элементом избранного абстрактного пространства.

В свое время Декартом была решена труднейшая методологическая проблема классической механики. Им был найден простейший и вместе с тем достаточно универсальный (применимый, по крайней мере в принципе, ко всем механическим процессам) способ — метод проектирования — сопоставления каждому положению материального тела его пространственных координат, а всякой траектории его движения — определенного математического уравнения, связывающего эти координаты (и время) между собой.

С тех пор обычное, «наглядное» соотнесение всем сколь угодно сложным видам механического движения некоторого уравнения, описывающего изменения со временем евклидовых координат движущегося тела, стало основой теоретической физики — очень привычной, повседневной, «очевидной» и даже «само собой разумеющейся». Только в начале XX в. А. Эйнштейн своим определением одновременности с помощью нового операционального средства — электромагнитных сигналов — показал, что при скоростях тел, близких к скорости света,

этот старый способ операциональной физической трактовки трехмерного евклидова пространства ничего, кроме логических противоречий, дать не может³. Эйнштейн, по-видимому, первым после Декарта осознал, что построение всякой новой фундаментальной теории связано и с некоторым новым способом операционального сопоставления определенного абстрактного пространства всей совокупности элементарных событий, описываемых этой теорией.

Бурные, продолжающиеся и до сих пор дискуссии относительно законности и универсальной применимости эйнштейновской трактовки физического смысла очень далеких от наглядности пространств общей теории относительности заслонили собой другой немаловажный для нас факт. Дело в том, что и другая фундаментальная физическая теория XX в. — квантовая механика при своем построении также должна была решить теоретико-методологическую проблему обсуждаемого здесь класса. А именно: физический смысл абстрактным элементам гильбертовых пространств — бесконечномерными матрицам, волновым функциям, а также матричным и дифференциальным операторам придается только благодаря основополагающей для квантовой теории аксиоме Борна — Дирака. Согласно последней квадрат волновой функции дает вероятность обнаружить в любом эксперименте корпускулу именно в данной точке.

Эта аксиома является операциональной основой любых физических применений квантовой механики, и сформулирована она была только в итоге трудного и сложного пути развития научного знания. Парадоксальность и глубокую противоречивость формирования квантовой теории характеризует, на наш взгляд, именно тот факт, что в ней окончательное решение проблемы универсальных операциональных процедур было получено почти в самом конце становления ее наиболее фундаментальных теоретических представлений. Сначала, как известно, были выдвинуты более наглядные способы экспериментально проверяемой интерпретации волновой функции (как почти таких же реальных «волн материи»,

³ Подробный анализ см. в кн.: С. Л. Мандельштам. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972, стр. 168 и сл.

что и электромагнитное поле). Но они явились очень плодотворными, необходимым, но всего лишь промежуточным этапом выявления действительно универсальных, т. е. всегда действенных и всегда справедливых, операциональных процедур теории, предложенных в конце концов М. Борном и П. Дираком.

В наши дни искомая универсальная операциональная процедура новой теории должна быть связана не только, — а возможно даже и не столько — с элементарными физическими процессами типа распространения электромагнитных сигналов или световых вспышек при ударе частиц об экран, сколько с какими-то весьма и весьма мало исследованными до сих пор, так сказать, «смешанными» физико-биологическими элементарными процессами.

С другой стороны, новые идеи и подходы к проблеме элементарных физико-биологических процессов могут появиться только в рамках каких-то существенно новых теоретических представлений, так что уже сейчас положение дел здесь представляется столь же трудным, что и в квантовой теории в годы формирования, например, матричной механики. Тогда тоже нужно было найти элементарный физический процесс, ответственный за испускание излучения атомом. Представление о таком процессе, которое давали классическая механика и электродинамика — ускоренное движение классически локализованных зарядов, — приводило почти к мгновенной гибели всех атомов во вспышке излучения самых различных частот и интенсивностей.

В. Гейзенберг первым решился поставить под сомнение точную локализацию электронов на очень малых, внутриатомных расстояниях, тем самым отрицая полностью старый декартов способ сопоставления с каждым движущимся объектом его точных трехмерных координат в каждый данный момент времени. Только благодаря этому решительному шагу стало вообще возможным дальнейшее движение теоретической мысли вперед в квантовой физике.

Совершенно аналогичным образом в наши дни всякая попытка найти новые, более универсальные и всеобъемлющие операциональные процедуры будущих новых теорий должна начинаться с сомнений в универсальности и всеобщности существующих способов локализации эле-

ментарных материальных процессов, даже тех, которые используются в настоящее время в теории относительности и квантовой механике (и квантовой теории поля). Бесконечности собственных энергий и зарядов элементарных частиц, получающиеся неизбежно во всякой последовательной релятивистской квантовой теории, говорят, по нашему мнению, именно об этом. Так что начинаем мы почти с того же самого пункта, что и Гейзенберг полвека тому назад, но только имея сейчас перед собой в определенном смысле более широкую и общую задачу — найти принципиально новые универсальные операциональные процедуры уже не только для физики (и химии) на уровне атомов, но и для самых разнообразных молекулярно-биологических процессов.

И здесь огромный интерес представила бы операциональная, устанавливаемая экспериментальными процедурами интерпретация таких объектов современной математики, как модули⁴. Последние, как известно, являются новейшим обобщением многомерных векторных пространств, повсеместное и многостороннее применение которых столь характерно для всего классического естествознания (и довольно значительной части современного). Но только модули отличаются от векторных пространств тем, что, наглядно говоря, в них по координатным осям «откладываются» не числа, а элементы гораздо более общего математического объекта — кольца.

В определенном смысле модули являются в современном естествознании некоторыми аналогами бесконечномерных матриц Гейзенберга в квантовой механике, но только в настоящее время мы знаем их (модулей) эмпирическую, операциональную интерпретацию, притом только для простейшего случая — когда они «вырождаются» в обычные, всем известные векторные пространства. В самом же общем виде, когда рассматриваются кольца, не сводящиеся к числовым, модули как раз и порождают определенные типы абстрактных схем Гротендика, которые, как говорилось, представляются особенно подходящими для теоретического описания специфической «цельности», «нераздельности», которая характерна как для квантовых процессов, так и для динамиче-

⁴ С. Ленг. Алгебра. М., 1968, стр. 93.

ских явлений на молекулярно-биологическом уровне живого.

С помощью модулей мы, вероятно, получим возможность операциональной пространственной интерпретации таких весьма гипотетических объектов современного естествознания, как биологическое поле Гурвича. Довольно значительная доля гипотетичности была связана до сих пор, как известно, именно с тем, что, наглядно говоря, его просто было «некуда» помещать в рамках обычных векторных пространств — в последних «не хватает» точек, которые можно было бы сопоставить с элементарными процессами, столь характерными для этих явлений.

2.2. Наиболее общие рамки теоретического описания в наши дни: категории и функторы

Поскольку почти все методологические проблемы, которые необходимо разрешить для построения общих оснований современной физики и биологии, сейчас находятся пока что только еще на стадии их более или менее ясной и отчетливой формулировки, мы вынуждены исследовать самые различные тенденции их возможного уточнения и углубления. Одним из таких — перспективных, по нашему мнению, и имеющих самостоятельный философский интерес — направлений представляются поиски наиболее общих рамок теоретического описания в естествознании наших дней.

До самого недавнего времени такими рамками — явно сформулированными или неявно предполагававшимися во всякой современной естественнонаучной теории — были рамки теории множеств: любой объект исследований представлялся принадлежащим некоторому множеству. Это приносило до сих пор в применении к физике и химии довольно положительные результаты, поскольку ко всем таким объектам становилась автоматически применимой вся основанная на теории множеств математика. Однако вместе с тем характеристика каждого объекта научных исследований как элемента некоторого множества имела и определенные нежелательные последствия, которые уже сейчас отдельные естествоиспытатели, особенно биологи, пытаются преодолеть на путях применения более общих (чем множество) понятий современной математики — понятий категорий и функтора.

Понятия эти были введены С. Эйленбергом и С. Мак-Лейном еще в 1945 г. как «наибольшая общая часть» всех предельно абстрактных построений математической науки наших дней. В самой математике они являются объединяющими структурами, преодолевающими старое разделение этой научной дисциплины на алгебру, геометрию, анализ и арифметику.

Они представляют собой современную ступень обобщения самых основополагающих понятий классической математики — множества и функций — на случай объектов гораздо более абстрактной природы. Категория — это собрание некоторых произвольных, но имеющих общую (в том или ином смысле) природу объектов, «которое может и не быть множеством в строго математическом значении этого слова»⁵. Эти объекты обладают определенным, достаточно богатым множеством отображений друг в друга — морфизмов, удовлетворяющих некоторым простейшим аксиоматически формулируемым требованиям.

Итак, впервые за многие годы от исходного, базового собрания математических объектов отнюдь не требуется с самого начала, чтобы оно было множеством, т. е. не требуется, чтобы можно было сразу же решить относительно любого объекта, принадлежит он данному множеству или нет. Нам кажется, что это очень существенное ослабление исходных предпосылок любых применений математики в современной науке имеет решающее значение для построения математических теорий в таких областях современного знания, как, например, динамическая биология. Дело в том, что, наглядно говоря, об определенном атоме углерода или азота в современной молекулярной биологии никак нельзя сказать заранее, с самого начала, войдет он или нет в определенную биологическую структуру (молекулу ДНК, белка, рибосому, митохондрию и т. п.).

Здесь мы сталкиваемся с совершенно общей ситуацией, имеющей своим источником проблему теоретических оснований применения математики к анализу систем, дающих в итоге нечто новое, не содержащееся в исходных предпосылках. Конечно, последнее понятие

⁵ Р. Годеман. Алгебраическая топология и теория пучков. М., 1961, стр. 24.

должно быть также определено достаточно точно и недвусмысленно, однако нам кажется, что не случайно до сих пор все применения математики в методологии науки свелись лишь к логико-математическому анализу научных теорий, уже закончивших свое творческое развитие — теорий, уже получивших свои наиболее важные и интересные научные результаты. Именно тогда, когда основные теоретические и экспериментальные компоненты научной теории становятся более или менее определенными, к ее методологии становится применимой теория множеств.

Совершенно очевидно, однако, что пока это не произойдет, — пока принципиально важные для данной дисциплины эмпирические и теоретические конструкты не станут более или менее хорошо определенным множеством, — достаточно серьезные применения математики, основанной на теории множеств, к методологии этой дисциплины просто не могут иметь место. Тем самым наиболее интересные в философском плане этапы развития научных теорий, например этапы формирования новых научных понятий, оказывались до настоящего времени принципиально за рамками точных, опирающихся на математические модели методов гносеологического анализа. Теперь же, наглядно говоря, мы можем объявить исходные эмпирические и теоретические конструкты новой научной дисциплины не множеством, а всего лишь объектами некоторой абстрактной категории и исследовать математическими методами общие закономерности построения с их помощью новых, более глубоких и информационно более емких научных понятий.

Совершенно аналогичным образом современная теоретическая биология, если только она действительно хочет математическими методами исследовать возникновение новых органических структур и особенно само органическое развитие, должна будет опираться не столько на теорию множеств, сколько на теорию категорий. Использование же только теории множеств с самого начала, автоматически исключает появление чего-либо нового, чего-то, что не было заключено в теории уже в самых исходных ее принципах. Оно может быть хорошо для анатомии или физиологии, для биологического исследования устойчивых состояний органических объектов, но любые вопросы, связанные с развитием их,

приобретением ими каких-то принципиально новых свойств и качеств, должны рассматриваться уже в рамках общей теории категорий и функторов.

Фиксация той или иной категории, поскольку речь идет, например, об эволюционной биологии, производится наиболее удобным с точки зрения запросов этой научной дисциплины образом. Мы не обязаны с самого начала фиксировать полный объем множеств всех тех объектов, которые в нее входят и которые могут нам понадобиться впоследствии. В начале построения теории мы задаем только множество отображений, которые должны иметь место между любыми объектами данной категории. Тем самым мы отказываемся решать с самого начала, какие именно исходные элементы нам могут потребоваться на каком-то последующем этапе развития, — чтобы получить тот или иной, совершенно непредвиденный, никак не ожидавшийся и потому абсолютно не предсказуемый заранее результат эволюции. Это очень существенное ослабление исходных математических требований относительно базовых, основополагающих элементов биологической теории. Благодаря ему открываются возможности для теоретического анализа эволюции не после того, как она завершилась и пришла к каким-то вполне определенным результатам, а непосредственно во время ее протекания, когда эти последние еще только формируются.

Если понятие категорий — это более приспособленное для нужд современного теоретического естествознания «ослабление» понятия множества, то понятие функтора — это обобщение понятия функции. Функтор — это отображение одной категории в другую категорию, способ представления свойств совокупности объектов одной природы свойствами совокупности объектов другой природы. Вместе с тем каждый функтор должен удовлетворять некоторым дополнительным, аксиоматически формулируемым, довольно простым и разумным требованиям.

Применения теории категорий и функторов к самым различным разделам современного естествознания (особенно к общей теории систем) только еще начинаются, но здесь мы хотели бы обратить внимание на то, что, по-видимому, наиболее общими и естественными рамками формулировки интересующей нас в данном разделе проблемы универсальных операциональных процедур являются также рамки этой теории. А именно: искомое нами

максимально широкое операциональное правило сопоставления элементов абстрактных пространств с определенными элементарными событиями некоторой области материальной действительности должно обязательно рассматриваться в наши дни как универсальный функтор, связывающий категорию пространств с категорией элементарных событий.

Исследование всякой новой сферы явлений начинается с «экстраполяций» некоторого «старого» хорошо известного функторного отображения уже изученных процессов на область новых эффектов. Однако это старое отображение по мере дальнейшего прогресса науки рано или поздно приходит в конфликт с принципиально не сводящимися к старым структурам новыми объектами (как пришел, например, в конфликт с устойчивостью атома «старый», еще декартов универсальный «функтор» сопоставления каждому движущемуся объекту его точных, строго локализованных координат в трехмерном евклидовом пространстве в каждый данный момент времени).

Универсально действовавший до сих пор операциональный функтор оказывается отнюдь не универсальным — не применимым к большинству новых явлений. Вот тогда и встает здесь во всей широте фундаментальная методологическая проблема построения новой теории — так обобщить старый (ставший теперь лишь частичным) операциональный функтор, чтобы он снова приобрел черты абсолютной универсальности. Он должен сопоставлять каждой существенной детали новых процессов вполне определенный элемент некоторого нового математического пространства. Проблема эта в отношении исследуемой нами возможности теоретического синтеза физики и биологии в настоящее время лишь может быть поставлена в самом общем виде, поскольку в каждой из этих научных дисциплин она находится на довольно различных стадиях ее решения.

Так в биологии основные наши наиболее важные («интуитивные») представления о пространственных «конфигурациях» живого до сих пор в наибольшей своей части определяются «старым» декартовым функтором сопоставления уравнениям обычных линий и поверхностей в трехмерном евклидовом пространстве. Только в области молекулярно-биологических процессов мы в совсем небольшой степени начинаем использовать принципиаль-

но новый (уже «пост-декартов»), квантовомеханический «функтор» Борна—Дирака, который дает неожиданные (с точки зрения старого, декартова функтора) результаты пока что только в области явлений квантовой биохимии.

В физике же эти новые, так сказать, «пост-декартовы» функторы (эйнштейнов — для релятивистских процессов, Борна—Дирака—для квантовомеханических) стали ныне делом почти повседневным. Например, в физике твердого тела они используются уже для объяснения макроскопических явлений. В области же процессов со сверхбольшими энергиями, протекающих на очень малых расстояниях, мы все более и более начинаем сомневаться ныне в универсальности даже этих, сравнительно «молодых» способов сопоставления структур абстрактных математических пространств со структурами реальной действительности.

Как от этих сомнений, которые были высказаны еще Гейзенбергом, Чью, Уилером и другими физиками, перейти к более конструктивным шагам, покажет будущее. Пока же мы можем утверждать, что дальнейшее движение теоретической мысли в этой области каким-то образом будет связано с взаимодействием основных понятийных структур физики и биологии, — подобно тому как эйнштейнов операциональный функтор был предложен только после установления единства всей физики на базе теории электромагнетизма, а следующий за ним операциональный (квантовомеханический) функтор Борна — Дирака — даже после установления теоретического единства и физики и химии.

Поэтому следует сначала теоретически осмыслить наиболее часто встречающиеся операциональные процедуры, с которыми имеет дело современный биолог-экспериментатор, чтобы затем уже, сравнив их — в рамках теории категорий и функторов — с соответствующими действиями современного экспериментатора-физика, найти что-то общее, универсальное для обеих этих научных дисциплин.

2.3. Предельный переход и ситэ

В результате развития теоретического естествознания определенное собрание объектов и процессов данного конкретного фрагмента материальной действительности

постепенно приобретает свое наиболее глубокое и адекватное описание с помощью определенного расслоенного пространства полной математической теории. Если ограничить себя чисто внешней, описательной стороной дела, нас будет интересовать прежде всего процесс постепенного превращения определенной абстрактной категории эмпирически заданных объектов в некоторое конкретное расслоенное пространство полной математической теории этих — или связанных с ними, более фундаментальных — объектов.

Но, конечно, движущие силы этого процесса постепенной конкретизации средств математического описания определенного круга явлений лежат во всем естествознании данной эпохи в целом. И определяются они прежде всего постоянным совершенствованием экспериментальной техники рассматриваемой научной дисциплины. Даже динамика развития ее теоретических концепций зависит от темпов совершенствования экспериментальной техники, и только потом уже — от наличия в данный момент в математике структур, наиболее подходящих для формирования с их помощью принципиально новых идей и понятий. Вслед за стадией первичного знакомства с новыми объектами начинается стадия их интенсивнейшего опытного изучения с помощью *всех*, какие только доступны, средств экспериментальной техники, — чтобы получить сведения о деталях и особенностях их поведения.

Философские проблемы всякой новой научной дисциплины встают во весь рост именно на этой стадии.

Впервые в истории познания это произошло в античной науке, когда Зенон сформулировал свои апории.

Говоря языком теории категорий, уже с самого начала изучения механических движений мы имели некоторое полуэмпирическое, но тем не менее вполне факторное отображение категории механических перемещений в категорию геометрических пространств. В плане исторической конкретизации средств теоретического описания данных опыта о механических движениях Зенон поставил вопрос об уточнении понятия предельного перехода для таких движений.

В современной математике категории, наделенные структурами предельного перехода, определенной топо-

логией, называются ситэ⁶. Это самый первый «зародыш» геометрии в произвольной категории объектов. Евдокс, формулируя свою аксиому как возможность разрешения апорий Зенона для механических движений, тем самым, с современной точки зрения, задал первое и до сих пор единственное хорошо исследованное ситэ точного естествознания. Таким образом, постепенное совершенствование экспериментальной техники, применение всех, какие доступны, ее средств, ставит вопрос об описании в данной категории уже *всех* деталей и особенностей интересующих нас объектов. Этот вопрос относительно «всех деталей и особенностей» рано или поздно конкретизируется во всякой фундаментальной естественнонаучной дисциплине как вопрос о топологии, о законах выполнения предельного перехода в категории «всех» объектов этой дисциплины.

Для механических движений исследование вопроса об их ситэ затянулось в ходе исторического развития естествознания фактически на многие столетия. Свойства ситэ механических движений были правильно осмыслены только Архимедом, который с их помощью (назвав это методом исчерпывания) получил ценнейшие доказательства теорем геометрии и механики. Но только в XVII в. решение Декартом проблемы однозначного сопоставления пространственным объектам алгебраических уравнений, и наоборот, открыло дорогу для создания Ньютоном и Лейбницем исчисления бесконечно малых как систематического метода решения задач механики, основанного именно на использовании свойств ситэ механических движений.

Правда, последнее было осознано только к самому началу XIX в. — в ходе обоснования важнейших понятий классического анализа Огюстеном Коши: ведь вся техника пределов с ее бесчисленными «сколь угодно малыми» «эпсилон», которые становятся таковыми, как только и поскольку становятся столь же малыми некоторые «дельта», существенно основывается именно на определенных топологических свойствах евдоксова ситэ. Таким образом, последнее является одной из самых глубоких и фундаментальных основ всего классического

⁶ A. Grothendieck. Théorie des topos et cohomologie étalé des Schémas, v. 1. N. Y., 1972, p. 221.

естествознания. До сих пор, например, на нем основаны все наши интуитивные представления о том, что называется «физическим смыслом» того или иного явления или уравнения. На нем же зиждется уверенность естествоиспытателей в том, что любой природный процесс можно описать с помощью тех или иных дифференциальных уравнений (обыкновенных или «многомерных» — в частных производных).

Первоначально изучение электромагнитных явлений также протекало в интуитивной уверенности, что их сите является обычным евдоксовым, определяющимся наглядными представлениями. И то, что Максвелл сформулировал законы электромагнитного поля в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных, на первый взгляд, только подтверждало это. «Полная система» законов движения совершенно новой, отличной от механики области физики оказалась найденной именно благодаря предположению о том, что «в основе мира» — в топологических свойствах пространственно-временного континуума — при переходе от механики к физике полей никакого существенного изменения не происходит.

Правда, увеличивается размерность соответствующих математических пространств: в дополнение к обычным, наглядным трем пространственным координатам и времени приходится добавлять еще трехмерное пространство векторов напряженности электрического поля и такое же пространство векторов напряженности магнитного поля. И хотя с точки зрения теории размерности, это — существенное изменение, но в отношении интересующей нас проблемы топологических свойств всех этих пространств уравнения Максвелла, казалось, не принесли ничего нового. Сдвиги наметились здесь только после того, как Эйнштейн показал, что уравнения Максвелла требуют и новых концептуальных пространств — сначала четырехмерного плоского пространственно-временного континуума Минковского, а потом, в общей теории относительности, и общих, произвольно искривленных римановых многообразий. Но лишь совсем недавно английский физик-теоретик К. Зеeman⁷ первым поставил всю

⁷ E. C. Zeeman. Causality Implies Lorentz Group.—«Journal of Mathematical Physics», 1964, v. 5, p. 490.

эту проблему достаточно широко и адекватно, а именно — как проблему тщательного и всестороннего топологического анализа нового ситэ физики — ситэ Эйнштейна.

Как оказалось, уже сама фиксация определенной топологии — превращение в ситэ собрания причинно-следственных отношений между точками пространства-времени — влечет за собой в качестве совершенно необходимо вывода тот факт, что единственной допустимой группой преобразований этих точек друг в друга (группой их автоморфизмов) является группа Лоренца. Правда, этот результат еще в 60-х годах нашего века получили А. Д. Александров, Г. Буземанн, Э. Кронхаймер и Р. Пенроуз, Р. И. Пименов, но только К. Зеeman вскрыл его настоящий физический смысл.

Теорема Зеемана утверждает, что между нашим обычным пониманием причинности в ситэ Эйнштейна и всей совокупностью законов электромагнетизма существует соотношение, аналогичное соотношению свойств однородности и изотропности пространства-времени и законов сохранения физики (вскрытое классической теоремой Гамеля—Нетер). Более того, целый ряд исследователей сразу же поставили вопрос о том, насколько вообще законен перенос наших обычных представлений о свойствах ситэ механических движений на абстрактные пространства теории относительности (например, вблизи светового конуса мы явно не имеем права выбирать окрестности точек совершенно произвольно).

Ответом на эти вопросы была следующая работа Зеемана⁸, которая показала, что топологические свойства пространства специальной теории относительности — четырехмерного континуума Минковского — существенно отличны от обычных свойств трехмерного ситэ механических движений. Особенно же сложной проблема описания топологических свойств нового ситэ физики — ситэ Эйнштейна становится тогда, когда к рассмотрению привлекаются абстрактные римановы пространства общей теории относительности.

Возможность возникновения гравитационного коллапса, при котором определенные области пространства становятся топологически полностью «отключенными» (для

⁸ E. C. Zeeman. Topology of Minkovski Space.—«Topology», 1967, v. 6, p. 161.

электромагнитных взаимодействий, по крайней мере) от других его областей, показывает, что ситэ Эйнштейна обладает целым рядом совершенно новых качественных свойств, просто немыслимых для ситэ Евдокса. Их систематическое и всестороннее изучение сейчас только еще начинается — в работах Р. Пенроуза, С. Хаукинга⁹, Р. Героча¹⁰ и др., доказавших ряд интересных теорем, касающихся условий появления и дальнейшей эволюции таких топологически «отключенных» материальных образований.

То же самое можно сказать и относительно другого ситэ современной физики — ситэ квантовой механики. Здесь также наблюдается, особенно в последние годы, бурный расцвет исследований по так называемой логике микромира, в которых также изучается топология собранных опытных данных, получаемых в самых различных экспериментах над микрочастицами. С точки зрения истории науки первые серьезные результаты, характеризующие ситэ квантовой механики, принадлежат, по-видимому, Дж. Нейману — его знаменитая теорема в нашей терминологии как раз утверждает принципиальную несводимость нового квантовомеханического ситэ Борна — Дирака к старому ситэ механических движений.

Долгие годы затем дискуссии вокруг всей этой труднейшей методологической проблемы были не очень плодотворны, поскольку они были направлены в основном на решение принципиально неразрешимой проблемы «скрытых параметров», которые и должны были свести новое ситэ квантовой механики к ситэ Евдокса. И только недавно исследования швейцарского физика-теоретика И. Яуха¹¹ показали, что вся проблема здесь состоит не в этих совершенно безнадежных попытках сведения квантовой механики к классической, а в систематическом изучении необычных топологических свойств совокупности всех допустимых состояний квантовых систем и их корреляций друг с другом. В терминах современной ма-

⁹ S. Hawking, G. Ellis. The Large Scale Structure of Space-Time. Cambridge, 1973.

¹⁰ R. Geroch. General Relativity in the Large.—«General Relativity and Gravitation», 1971, v. 3, p. 61.

¹¹ J. Jauch. Foundations of Quantum Mechanics. London, 1968, p. 121.

тематики это и означает обстоятельное исследование существенно неклассических свойств ситэ Борна — Дирака ¹².

§ 3. Поиски элементарного объекта

3.1. Класс элеато-гераклитовых проблем

При построении оснований всякой новой фундаментальной естественнонаучной теории можно выделить четыре больших класса методологических проблем, решение которых представляется совершенно необходимым и к которым сводится задача построения такого рода теории.

Это, во-первых, — выделение определенного класса абстрактных математических пространств, те или иные структуры которых способны полностью и однозначно характеризовать состояние движения объектов данного уровня строения материи (трехмерное евклидово пространство обычных механических движений, многомерные пространства векторов напряженности электрических и магнитных сил в теории поля, бесконечномерное гильбертово пространство квантовой теории и т. п.). Во-вторых, — это формулировка определенных экспериментальных процедур, операциональных правил, устанавливающих соответствие элементарных событий данного фрагмента материальной действительности некоторым элементам избранного математического пространства. В-третьих, — это выявление элементарного объекта данной формы движения материи (материальная точка — в классической механике, вектор напряженности поля в теории поля, абстрактное «состояние» микросистемы в смысле Дирака — в квантовой теории). Наконец, в-четвертых, формулировка с помощью определенных конкретных структур данного математического пространства фундаментальных законов движения исследуемой формы материального движения (уравнения Ньютона в классической механике, Максвелла — в электродинамике, Шредингера — в квантовой механике и пр.).

Отличительной особенностью именно естественнонаучной теории является то, что в ней и абстрактное математическое пространство, и операциональные процедуры, и

¹² Дж. Макки. Лекции по математическим основам квантовой механики. М., 1965, стр. 105 и сл.

элементарный объект, и фундаментальный закон движения определены однозначно (с точностью до изоморфизма). Именно здесь проходит линия раздела, отделяющая научные теории от различного рода математических моделей — в последних базовые методологические объекты выбираются довольно произвольно: возможно даже сосуществование в течение довольно длительного времени моделей одного и того же процесса с различными элементарными объектами. На «модельном» этапе развития научной теории и «математические пространства», и операциональные процедуры и даже «уравнения движения» могут быть выбраны до известной степени произвольно. Вплоть до того, что их соответствующие конкретные представители могут даже и не быть пространствами или уравнениями в строго математическом смысле этих понятий.

Опыт создания классической механики, классической электродинамики, квантовой теории, попытки построения «полной» теории процессов в области физики высоких энергий, наконец, довольно многочисленные уже проекты создания теоретической биологии учат нас, что чаще всего четыре рассматриваемых класса методологических проблем решаются отнюдь не последовательно друг за другом. С точки зрения логики здесь должна была бы иметь место следующая последовательность событий — сначала выявляется элементарный объект данной формы материального движения, потом формулируются операциональные правила сопоставления характеристик этого объекта структурам некоторого абстрактного пространства, свойства которого наиболее полно характеризуют все существенные особенности исследуемой формы движения материи. Наконец, выдвигаются в качестве «основного закона движения» данной области явлений некоторые математические соотношения, например дифференциальные уравнения или их системы.

На самом же деле события разворачиваются обычно «нелогичным» образом: сначала математики — задолго до каких-либо «запросов» естествознания, нередко из соображений «красоты», особого совершенства или своеобразия — исследуют некоторое новое абстрактное пространство. И иногда уже через несколько лет или десятилетий, часто очень необычные и даже парадоксальные его свойства, известные доселе только узкому кругу

специалистов, совершенно неожиданно оказываются точно соответствующими столь же необычным и парадоксальным свойствам движения материи на некотором особенном, только что ставшем доступным исследованиям уровне ее организации. Тогда и встают вовесь рост эти труднейшие методологические проблемы, о которых уже шла речь и к которым теперь добавляется еще одна, к рассмотрению которой мы переходим.

Мы связываем ее наименование с двумя направлениями античной философской мысли, которые наиболее остро сформулировали существующую антиномичность эмпирических данных всякого раздела научного знания¹³. Диалектическая противоречивость устойчивости и изменчивости, сохранения и движения пронизывает ныне мир элементарных частиц и все без исключения уровни организации живой материи, как и эмпирический материал науки в эпоху элеатов и Гераклита. Как уже говорилось выше, виртуальная превращаемость всех элементарных корпускул друг в друга является поистине самым способом их бытия. И вместе с тем каждый данный вид частиц характеризует удивительнейшее постоянство их основных характеристик — масс, зарядов, спинов и т. д. Аналогичная антиномичность изменчивости и устойчивости характерна и для всех объектов биологической науки. Само существование последних, как известно, связано с динамическими процессами создания, перестроек и разрушения белковых или других органических молекул при одновременном сохранении характерных постоянных особенностей данного вида живых существ.

Очень часто зарождение гениальной идеи атомизма даже в солидных научных трактатах представляется до крайности наивно, в полном отрыве от того конкретного историко-философского и историко-научного контекста, который стимулировал и подготовил выдвижение этой фундаментальнейшей естественнонаучной идеи.

Такая глубокая естественнонаучная идея, оказавшая столь могучее воздействие на все развитие человеческого познания, не может возникнуть на уровне только чувственных восприятий. Идея атомизма возникла как теоретическое разрешение философских проблем, поставленных глубочайшими мыслителями античной Греции.

¹³ Н. Ф. Овчинников. Принципы сохранения, М., 1968, стр. 40—42.

Эти проблемы встали в античной философии во весь рост в связи с диалектикой движения и устойчивости, противоречивостью соотношений изменчивости и постоянства в материальном мире. Как разрешить в понятиях эту противоречивую диалектику мира, как «схватить» движение космоса с помощью строгих, устойчивых логических категорий?

Гениальность диалектиков древности Левкиппа и Демокрита состояла как раз в том, что они сумели удовлетворительным для их времени образом разрешить это, казалось бы, безысходное противоречие изменчивости и устойчивости. Они «уменьшили» парменидовское неизменное и бесконечное бытие до размеров очень малых атомов и обусловили постоянство, сохранение, закономерность мира прежде всего их существованием. А все изменения, движения, вариации, то, что выдвигал на первый план Гераклит, они связали с движением и различными сочетаниями, различными комбинациями атомов друг с другом.

Таковы исторические обстоятельства возникновения одной из основополагающих идей естествознания — идеи, которая на протяжении многих веков определяла наиболее прогрессивные направления его развития. Эта идея является примером того, как философские размышления о природе и самых общих свойствах бытия объектов могут дать очень интересные и полезные для всей науки результаты.

3.2. Элементарные объекты физики и биологии

Качественное решение атомистами проблемы диалектически противоречивого единства изменчивости и устойчивости всех окружающих нас объектов — это, само собой разумеется, только самый первый и простейший пример из обширнейшего класса гораздо более сложных и запутанных проблем, которые каждый раз вставали (и встают до сих пор) перед естествознанием на всяком существенно новом этапе его развития. Отличительной особенностью этих более сложных проблем является то, что теперь они ставятся не на пустом почти месте чисто качественных соображений, а возникают в ходе систематического, опирающегося на обширный экспериментальный и теоретический материал развития различных есте-

ественнонаучных дисциплин. В философском плане всякая попытка объяснения определенной совокупности эмпирических опытных данных с помощью той или иной модели явно или неявно предполагает определенное разрешение методологической проблемы обсуждаемого здесь класса. Ибо всякая модель прежде всего основывается на выделении одних каких-то объектов в качестве исходных «кирпичей» объяснения (и выведения из них) свойств и поведения ряда других объектов. Тем самым всякая естественнонаучная модель уже самым первым шагом своего построения предполагает известную «рассортировку» всего исследованного многообразия изменений интересующих нас объектов на два больших типа. Один тип изменений — производный — мы надеемся получить с помощью предложенной модели, а другие изменения мы принимаем за постоянные, устойчивые характеристики базовых объектов данной области действительности.

Например, таковы восходящие еще к Декарту объяснения тех или иных механических движений с помощью вихревых конструкций. С методологической точки зрения — это подобный атомизму способ разрешить противоречия устойчивости и изменчивости в эмпирическом материале, накопленном к тому времени бурно развивавшейся механикой. Вихри в качестве базового, «элементарного» объекта своих моделей Декарт выбрал далеко не случайно — уже в те годы было собрано достаточно опытных данных (например, благодаря изучению простых волчков или круговых движений жидкостей и газов) относительно подобных типов вращательных движений (и получивших впоследствии свое достаточно строгое теоретическое объяснение как следствия закона сохранения вращательного момента).

Долгие годы «картезианское» построение механики с помощью наглядных элементарных объектов — простейших вихрей — было весьма популярным среди ученых. Оно тем не менее не выдержало исторического соревнования с диаметрально противоположным, ньютоновским способом разрешения элеато-гераклитовых проблем механики, в котором в качестве элементарных объектов этой науки выбраны были так называемые материальные точки. Благодаря этому понятию механика Ньютона стала, по нашему мнению, фундаментальной научной теорией. Оно, с одной стороны, сохраняет в себе (в потенциаль-

ной, «свернутой», особым образом «перекодированной» форме) все то богатство естественнонаучной информации, которое несет с собой понятие атома. С другой же стороны, в отличие от декартовых «вихрей», оно выражает единственный тип элементарного объекта механики, который вполне совместим с евдоксовым ситэ — с возможностью (и необходимостью — при строгом аналитическом построении механики) сделать переход к пределу.

После того, как Евдокс своей аксиомой зафиксировал топологические свойства ситэ — «места протекания» — механических движений, задав по крайней мере в принципе, в потенции (для своего времени) точные, строгие и однозначные правила перехода к пределу, всякое серьезное решение фундаментальных проблем механики должно было аккумулировать все это многообразие ценнейшей естественнонаучной информации. Элементарные вихри Декарта — просто в силу своей топологически не тривиальной природы — никак не могли «вместить» в себя еще и эти новые совершенно необходимые для систематического построения механики компоненты информации относительно топологических особенностей механических движений. Ньютоновские определения таких основополагающих понятий механики, как скорость, ускорение и т. д., существенно предполагают тривиальность ситэ всех механических движений. После О. Коши стало уже общим местом утверждение, что элементарный объект механики обязательно должен быть таким, чтобы, с одной стороны, содержать аспекты эмпирической и теоретической информации, связанные с идеей атомизма (дискретность, устойчивость и т. п.), а с другой стороны, — допускать применение к его характеристикам (координатам и скоростям в механике) классической техники пределов математического анализа. Элементарный объект механики возникает при достаточно строгом построении ее как научной дисциплины только в результате «пересечения» идеи атомизма материальных объектов и идеи топологической тривиальности пространства их возможных механических движений.

Этот интересный для современной физики и биологии результат явился итогом сложного и трудного, продолжавшегося много столетий развития научной мысли. Аналогичный процесс выявления элементарного объекта классической теории электромагнетизма времени занял,

разумеется, уже гораздо меньше, хотя и был тем не менее в теоретическом отношении столь же запутанным, сложным и противоречивым. Определяющей силой научного прогресса и здесь было взаимодействие опытных данных с идеями атомизма и тривиальности ситэ реального физического пространства. Последнее выступало, правда, большую часть времени — фактически несколько веков — под маской некоего непрерывного квазимеханического «флюида», заполнявшего все доступные научному исследованию области Вселенной и представлявшего собой некий, весьма эфемерный — эфирный «носитель» всех электромагнитных явлений. Однако, если проанализировать критически те свойства этого эфирного флюида, которые оказались реально необходимыми для формирования понятия об элементарном объекте теории электромагнетизма, то мы очень скоро убедимся, что это были те же самые топологические характеристики непрерывности. Только выступали они в оболочке механистических представлений о «натяжениях», «кручениях», «сжатиях» и прочих экзотических состояниях такого флюида. Подобная флюидо-механистическая «оболочка» довольно долгое время стояла на первом плане теоретического мышления ученых и, например, даже у Максвелла заслоняла собой реальное содержание электромагнитных явлений. И это понятно: то сочетание идей атомизма и тривиальности топологии физического пространства, которое было найдено в представлении о материальной точке, в то время вообще казалось отличительным признаком материальности, а потому и представлялось абсолютно необходимым для всякой науки.

И тем не менее тщательный логический и теоретический анализ оснований классической электродинамики, произведенный прежде всего Г. А. Лоренцом, показал, что можно добиться искомого единого объяснения всех опытных данных, касающихся электромагнитных явлений, положив в основу их описания некий совершенно новый синтез идеи атомизма и тривиальности топологии электродинамических процессов. Таким синтезом выступило понятие вектора напряженности электрического и магнитного поля в каждой точке как естественного элементарного объекта новой фундаментальной физической теории — электродинамики. Для протяженных в пространстве и во времени физических полей единственной

«общей точкой» пересечения идей атомизма и топологической тривиальности механических и электромагнитных явлений оказывается теперь именно этот вектор напряженности поля в каждой точке.

В систематическом строгом построении здания классического естествознания оба понятия (материальной точки в механике и вектора напряженности в данной точке — в теории поля) сыграли такую же фундаментальную роль, как и идея атомизма. В этом отношении они являются следующим, более глубоким и содержательным этапом развития теоретического мышления — этапом количественного объяснения большинства окружающих нас явлений материального мира.

Нет возможности проследить историю формирования понятий элементарного объекта в двух основополагающих физических теориях XX века — теории относительности и квантовой механики. Скажем лишь, что это формирование также протекало в уверенности в том, что *sité* — место протекания процессов, изучаемых этими теориями, является также тривиальным. Между тем, кратко рассмотренные выше новейшие исследования К. Зеемана по топологии пространств теории относительности и И. Яуха по топологии пространств состояний квантовых систем показывают, что это совсем не так.

Возможно даже, что все парадоксальные особенности поведения их объектов имеют своей причиной как раз неадекватность реальной действительности свойств неявно предполагаемой топологической тривиальности пространства-времени в области процессов, совершающихся со скоростями, близкими к скорости света, или на очень малых расстояниях. Поскольку исследования этого математически очень сложного вопроса далеко еще не закончены, можно лишь проанализировать возможные связи вектора состояния квантовой системы в гильбертовом пространстве со структурами новых пространств Гротендика.

Пока что здесь возможны лишь чисто эмпирические методы исследования. По-видимому, даже простое сопоставление свойств нильпотентных структур схем Гротендика и свойств виртуальных частиц, кварков, сакатонов, реджионов, фридмонов, померанчонов, партонных и им подобных «элементарных сущностей» различных моделей современной физики элементарных частиц было

бы весьма полезным. Точно так же как и дальнейшему прогрессу теоретической биологии, а вместе с тем и выявлению новых, более глубоких оснований биологической и физической наук — весьма способствовал бы анализ связей таких структур в схемах Гротендика с оперонами, конформонами, репликанами, оргами, голонами, креодами, инфами и прочими «элементами» биологической организации, которые в последние годы все более интенсивно пытаются выявить исследователи в области молекулярного и других уровней строения живого.

3.3. Наиболее общая вариация динамических структур теории

Длительное и многоплановое взаимодействие идей атомизма материальных объектов и топологической тривиальности пространства их возможных изменений (перемещений, вариации поля и т. д.) — это лишь один из источников формирования общего понятия элементарного объекта данного уровня строения материи. Другим, не менее важным источником является постепенное углубление наших представлений о наиболее общем изменении тех абстрактных структур, которые привлекаются для характеристики, фиксации состояния исследуемых объектов. Сама идея о том, что каждой эпохе соответствует определенное понимание наиболее общей — для данного времени — вариации абстрактных теоретических структур, высказана французским математиком, одним из основателей группы Бурбаки, Ж. Дьедонне¹⁴.

Он исходил при этом из того, что в каждую данную историческую эпоху теоретические запросы наиболее передовых разделов математической науки постоянно ставят вопрос о все более и более основательном углублении наших «рабочих» представлений о наиболее общей вариации математических структур теории. Так прикладные задачи вычисления площадей и объемов определенных тел в сочетании с запросами механики на новые, более адекватные способы математического описания движущихся объектов заставили переосмыслить в XVII—XVIII вв. статичный мир понятий античной и арабской математики. В евклидовой геометрии и элементар-

¹⁴ Ж. Дьедонне. Современное развитие математики.—«Математика», 1966, т. 10, № 3, стр. 3.

ной алгебре, как известно, рассматриваются только наглядно данные, почти никогда не изменяющиеся математические структуры. Дух динамики и изменения, который принес с собой в математику анализ Ньютона и Лейбница, не только позволил заложить теоретические основы классической механики. Он вызвал также дискуссии относительно наиболее широкого понимания вариаций, математических структур в теориях той эпохи — о самом общем понимании любой произвольной функции.

Дискуссии эти — под огромным и часто определяющим влиянием теоретических запросов механики — велись более двух столетий и закончились только в XIX в., когда было выработано современное понимание этого основополагающего для всей математики понятия и когда — что мы считаем далеко не случайным — развитие понятийных оснований классической механики практически закончилось. Первоначальное, восходящее еще к арабской математике понимание функции как некоторого алгебраического или вообще аналитического выражения, позволяющего «алгоритмически» вычислить ее значение при каждом данном значении независимой переменной, оказалось узким. Оно не соответствовало интересам механики к совершенно произвольным, заранее не заданным никакой алгебраической (аналитической) формулой движениям материальных тел.

Так на первых порах очень наглядное представление о произвольной траектории движущегося объекта дополнило и даже частично заменило собой устаревшее к тому времени первоначальное понимание функции, как некоторого аналитического выражения, фиксирующего конкретный способ получения значения функции для каждого значения ее аргумента. Механика требовала снять это ограничение заданностью определенной формулой. Общие вариации математических структур того времени наглядно представлялись, например, в виде изменений траекторий движущихся объектов.

Даниил Бернулли и Даламбер, Эйлер и Лагранж довольно много времени потратили на выяснение того, какое именно обобщение понятия функций в наибольшей степени соответствует теоретическим запросам этой эпохи. Разумеется, формирование основных понятий математики только начинается с учета запросов ее при-

кладных областей. В основной же своей части оно происходит благодаря сложным и многоплановым взаимодействиям самих математических дисциплин. Так что наиболее общее понимание функции, которое было в конце концов выработано,— как совершенно произвольного отображения одного множества в другое — уже не сводится целиком к исходным механическим картинам. (И оно даже содержит в себе такие компоненты, которые принципиально не интерпретируемы в терминах механики,— например, разрывные функции или функции, не имеющие ни в одной точке производной.)

Однако исходный толчок этому процессу выработки современного понимания функции дала именно проблема наиболее общей вариации поведения элементарного объекта в исследуемом механикой «срезе» явлений материальной действительности.

Аналогичным образом XIX в. (по крайней мере, последние его две трети) занимают дискуссии о наиболее общем понимании математического пространства. Людям, привыкшим к многомерным и произвольно искривленным (римановым) пространствам современной теоретической физики, кажутся теперь во многом непонятными страхи К. Гаусса, так и не решившегося опубликовать при жизни свое новое, более глубокое понимание этого важнейшего математического понятия. Более смелыми оказались Н. И. Лобачевский и Я. Бойаи, также подошедшие к такому пониманию и высказавшие его в научной печати.

Как и в случае понятия функции, сложное, трудное и даже мучительное формирование представлений о возможных изменениях любого математического пространства протекало, разумеется, прежде всего в результате многосторонних и очень разнообразных взаимодействий различных областей математики. Однако исходный импульс этому отказу от понимания евклидова пространства как единственно возможного, понимание того, что исходное математическое пространство также может быть переменным, вариабельным объектом, принесли с собой в математику и точное естествознание именно теоретические запросы бурно развивавшейся весь XIX в. физики полей (электромагнитного, гравитационного, полей скоростей и температур движущихся или теплопроводящих жидкостей, газов и т. д.).

Решениями большинства уравнений, описывающих эти последние процессы, обычно выступают самые различные, произвольно искривленные поверхности и гиперповерхности в многомерных пространствах, так что постепенно, ко второй половине XIX в., сама мысль о том, что наиболее общим типом вариаций математических структур являются изменения типа пространства, в котором протекают те или иные физические процессы, становится уже не столь чуждой «стилю» мышления эпохи. Будучи сформулирована Риманом, мысль эта не вызывает слишком уж резких возражений, тогда как почти аналогичная мысль Лобачевского (например, о возможной «неевклидовости» пространства молекулярных сил), высказанная почти за полвека до Римана, вызвала против себя весьма ожесточенную критику со стороны крупнейших русских математиков того времени.

Теоретический анализ понятия абстрактного пространства продолжался в математике и после Римана. И происходил он не только под влиянием запросов физики, а прежде всего благодаря комплексному взаимодействию всех математических дисциплин, достигнув, например, в понятии общего топологического пространства таких глубин, которые пока что недоступны физически осмысленному толкованию. Но в отношении интересующего нас здесь понятия элементарного объекта надо постоянно иметь в виду, что его формирование в очень многих пунктах шло параллельно с формированием представлений о наиболее общем «вместилище» любых вариаций интересующих науку объектов.

Пока что наше общее представление о типе изменений в структуре изучаемых явлений неразрывно связано с изменением типа абстрактного математического пространства. Именно в него мы «помещаем» некоторые, определенным образом выбранные элементарные «сущности» — элементарные объекты исследуемой области действительности. С помощью этого пространства мы и надеемся получить абсолютно «полное» описание и объяснение всех явлений этой области. В этом отношении свойства элементарных объектов и тех абстрактных пространств, в которые мы их помещаем, находятся в отношении диалектической «дополнительности».

С одной стороны, элементарные объекты связаны с наиболее элементарными структурами избранного мате-

матического пространства. Но с другой стороны, окончательно тип элементарного объекта данной физической теории устанавливается после окончательного выбора абстрактного пространства, способного своими свойствами и структурами отразить все многообразие свойств того «среза» материальной действительности, который изучается данной теорией.

Поэтому кажутся преждевременными попытки строить теорию элементарных частиц или теоретическую биологию, взяв элементарные объекты теории, так сказать, «напрокат» у квантовой механики или даже у механики классической — лишь на том единственном основании, что их использование было некогда весьма успешным и плодотворным. Нам представляется, что такой путь построения новых фундаментальных теорий имеет очень мало шансов на успех, если предварительно не произведен тщательный методологический анализ того понимания наиболее общей вариации структур, которое выбирают при построении теории.

В свете вышесказанного, одной из интереснейших методологических проблем современного естествознания становится задача обстоятельного исследования того, что мы понимаем под наиболее общим изменением характеристических структур. Вариации метрики абстрактного пространства, в которое мы помещаем элементарные объекты, оказываются уже недостаточными. Поэтому Дж. Л. Уилер вводит в своих единых теориях элементарных частиц и гравитации так называемое сверхпространство, представляющее собой совокупность искривленных римановых пространств, параметризованных точками нашего обычного евклидова пространства¹⁵.

Эта идея, по нашему мнению, очень близка к одному из основополагающих понятий современной математики, основанной на концепциях категорий и функторов, — понятию пучка. После того, как в произвольной категории введена некоторая топология и она превратилась в определенное ситэ, среди всего многообразия функторов — отображений данной категории в другие — наибольший интерес начинают приобретать функторы, обладающие свойством некоторой внутренней «самосогласованности». Такие функторы, удовлетворяющие до-

¹⁵ Дж. Уилер. Предвидение Эйнштейна. М., 1970, стр. 30, 72.

полнительному условию, означающему, что «значения» их на некотором множестве и любых его подмножествах определенным образом согласованы друг с другом (образуя так называемую точную последовательность), и называют пучками.

В определенном смысле пучки являются аналогом в современной математике понятия семейства функций, параметризованных некоторым пространством. Именно они наиболее приспособлены для строгого и последовательного описания всего того многообразия физических полей, с которым мы столкнулись в современной физике высоких энергий. В теоретической биологии представление о согласованном изменении одних характеристических структур в соответствии с изменениями других, более фундаментальных,— также одно из наиболее часто встречающихся. Поэтому нам кажется, что в поисках общих теоретических оснований современной физики и биологии в рамках концепции категорий и функторов мы рано или поздно должны будем исследовать в методологическом плане проблему, не являются ли именно категории всех пучков — топосы той абстрактной математической структурой, с которой в наши дни должны связываться представления о наиболее общем изменении структур теории — как в области физики, так и в области биологии.

Математические дискуссии о природе и более строгом определении возможных вариаций различных топосов уже начались¹⁶. Для целого ряда важнейших теоретических построений современной математики (*K*-функтор и т. п.) необходимо ввести эту категорию всех пучков (топос в терминологии Гротендика), которая в той или иной степени оказывается связанной с таким логически противоречивым понятием, как множество всех множеств. В теоретической физике, особенно при анализе полей самых различных элементарных частиц, понятие топоса как категории всех пучков волновых функций, описывающих все, какие только возможны квантовые поля, по-видимому, также понадобится, по крайней мере, при анализе вопроса, почему в природе имеют место наборы элементарных частиц именно данной массы, заряда, спина и т. д.

¹⁶ Toposes, Algebraic Geometry and Logic. N. Y., 1972.

§ 4. Универсальные законы движения

4.1. Класс галилеево-ньютоновых проблем

Завершает построение оснований всякой новой фундаментальной естественнонаучной теории, как известно, разрешение последнего, четвертого класса основополагающих методологических проблем: формулировка универсальных, всеобщих законов движения однозначно определяемых элементарных объектов в столь же однозначно определенном математическом пространстве. Несмотря на дискуссии среди методологов науки относительно таких вопросов, как уравнения Ньютона, Максвелла, Шредингера и т. п., серьезный философский анализ закономерного изменения их структуры по мере роста степени общности физической теории еще никем проведен не был.

Между тем, такой анализ интересен и даже необходим. Как известно, еще уравнения Ньютона позволили объединить в единое теоретическое целое падение яблока и движение Луны, качание маятников и странные эпициклы планет, полет пуль и расчет (уже в наши дни) траекторий космических снарядов. Подобно этому во второй половине XIX в. гамильтонова форма тех же самых уравнений дала возможность теоретически объединить вместе механику и теплофизику, а чуть позднее уравнения Максвелла (плюс формула для силы Лоренца) — все известные тогда разделы физики (включая сюда установление тождества света и электромагнитных колебаний и открытие радиоволн). Ведь, наконец, именно уравнение Шредингера позволило объединить в единое теоретическое целое как физику, так и химию — различные в течение многих веков научные дисциплины оказались различными «решениями» одного и того же уравнения.

В наши дни новая фундаментальная естественнонаучная теория должна, по нашему мнению, сделать и следующий шаг в направлении синтеза знания: ее «уравнения движения» должны допускать как «решения», описывающие организацию материи при сверхвысоких энергиях в форме спектра элементарных частиц, так и «решения» на противоположном конце энергетическо-

го спектра, при энергиях в доли электрон-вольт,— теоретически объясняющие биологические формы организации материального движения. Задача эта, трудная, сложная и многоплановая, потребует усилий не одного поколения физиков-теоретиков и экспериментаторов, химиков, биофизиков и биохимиков. Уже сейчас представляется необходимым произвести некоторый предварительный анализ структуры и закономерных изменений — по мере роста степени общности — уравнений движения уже созданных к настоящему времени фундаментальных естественнонаучных — физических — теорий.

Такой анализ позволяют произвести теоретические подходы современной коммутативной алгебры¹⁷. Этот раздел математической науки ставит своей целью изучение свойств произвольных колец как исходных понятий построения дальнейших, более сложных математических конструкций теорий. Ведь известные нам уравнения движения физических объектов представляют собой определенные многочлены в фиксированном заранее кольце полностью описывающих данную форму материального движения математических параметров (изменяющихся координат, величин поля, операторов дифференцирования, констант масс, зарядов и т. п.).

Рассматривая такое кольцо многочленов в целом, мы можем обозреть многообразие самых различных уравнений (поля, движений частиц, сохраняющихся величин — вообще любых законов движения любых абстрактных объектов) и поставить вопрос: а почему мы вообще встречаем в природе именно данные уравнения — Ньютона, Максвелла, Шредингера, Дирака и т. д., а не какие-то другие?

С точки зрения современной коммутативной алгебры, всякое уравнение задает в фиксированном кольце характеристических параметров (исследуемых объектов) некоторый идеал, который выделяет из всевозможных допустимых значений этих параметров только такие, которые обращают в ноль это уравнение — как их определенную (полиномиальную) комбинацию друг с другом и с другими параметрами. Иными словами, уравнение позволяет выявить среди всего многообразия характеристических параметров изучаемых объектов такое их

¹⁷ Н. Бурбаки. Коммутативная алгебра. М., 1971.

подмножество, на котором обращается в ноль алгебраическая функция, представляющая собой идеал, соответствующий этому уравнению.

Методы Гротендика позволяют сопоставить каждой системе уравнений в произвольном кольце некоторые обобщенно-геометрические структуры в абстрактных пространствах схем. В определенном смысле Гротендик «просто» обобщает идеи Декарта, приведшие к созданию аналитической геометрии, на объекты современной математики: если Декарт научил нас сопоставлять каждой тройке чисел некоторую точку в евклидовом пространстве и наоборот, то Гротендик сопоставляет произвольному алгебраическому кольцу и идеалам в нем определенные обобщенно-пространственные элементы общих схем.

Один из основателей группы Бурбаки А. Вейль утверждает, что пространственная интуиция неоценима, если сознавать ее ограниченность. В абстрактных пространствах общих схем Гротендика мы впервые имеем возможность визуально-геометрически изучать структуру «организации» самых различных уравнений движения исследуемых объектов — изучать их в некотором обобщенном пространственном «соседстве» с другими типами таких уравнений. Это позволяет расклассифицировать виды уравнений движения на некоторые группы наделенности их (уравнений) определенными характеристическими свойствами (существование постоянных зарядов, например, или столь же постоянных масс покоя и т. п.).

Новые пространства Гротендика, кроме того, позволяют даже геометрически интерпретировать саму «динамику» перехода от уровней движения, например, классической механики (и их интегралов) к уравнениям движения квантовой теории.

4.2. Физика как теория расслоенных пространств

Наиболее поразительная черта физических уравнений движения состоит в том, что все они необходимо связаны с так называемыми расслоенными пространствами¹⁸ — объектами, занимающими одно из централь-

¹⁸ J. Souriau. Structure des Systèmes Dynamiques. Paris, 1970.

ных мест в теоретических построениях современной математики. Рассмотренные пространства — это общий способ описания особого соотношения друг с другом зависимых и независимых переменных физической теории. Они представляют собой обобщение этого описания на типичный для современной физики случай, когда зависимые и независимые переменные перестают быть простыми количественными величинами, а превращаются в гораздо более абстрактные структуры (типа групп симметрии и т. п.).

В механике Ньютона имеет место простейший тип расслоения: его базой, совокупностью независимых переменных, изменения которых параметризуют собой изменения всех других механических характеристик объектов, выступает время. Слоем же — совокупностью зависимых переменных, характеризующих собой все, сколь угодно сложные механические процессы, — являются пространственные (трехмерные) координаты движущихся точек.

Уравнения движения Ньютона позволяют по определенным характеристикам изменения пространственных координат объектов (по их вторым производным по времени) выявить существенно новые элементы физической реальности — силы, являющиеся в механике единственными причинами изменения состояния движущихся объектов. А если закон действия сил (их изменение в пространстве и во времени) известен хотя бы эмпирически, уравнения движения позволяют (по крайней мере, в принципе) полностью и однозначно описать и предсказать результаты любых, сколь угодно сложных механических движений.

Такая внутренняя простота структуры универсальных уравнений движения в механике возникла, разумеется, только как итог длительного, буквально многовекового развития ее основных, наиболее глубоких понятий. Но и теперь еще относительно этой структуры мы можем предложить вопросы, на которые пока что нет ответа: а почему, например, в уравнения Ньютона входит именно вторая производная по времени? А почему для их формулировки и правильного применения надо обязательно выбрать особый класс координатных систем — так называемые инерциальные системы отсчета?

Новые подходы к решению этих вопросов найдены в

последних работах К. Годбийона¹⁹ и С. Мак Лейна²⁰. Они провели предварительный анализ основных понятий теоретической механики с точки зрения современной математики и пришли к очень неожиданному выводу: для формулировки законов движения Ньютона не обязательно иметь метрику, какие-то расстояния между движущимися объектами.

Всю основную группу наиболее фундаментальных механических понятий, оказывается, можно (с помощью понятий пучка, касательных и кокасательных расслоений и т. п.) ввести в теорию механики без каких-либо существенных ссылок на понятие метрики, используя только более общие, топологические структуры. Сейчас уже показано, что для полного решения целого ряда механических задач (типа устойчивости движения и т. п.) можно вообще обойтись без введения каких-либо расстояний. Но можно ли так сделать во всех задачах или же какой-то этап решения механических задач с абсолютной необходимостью требует введения некоторой метрики — эти вопросы еще требуют дополнительных исследований.

В теории поля универсальные законы движения устанавливают наиболее общие свойства новых элементов физической реальности — силовых полей. Они обнаруживаются благодаря воздействиям, оказываемым ими на состояние движения механических объектов. Уравнения поля также существенно связаны со структурами расслоенных пространств — только базой, совокупностью независимых параметров, становится здесь уже все четырехмерное множество — пространство и время. В слой же — в совокупность зависимых, параметризуемых базой переменных — помещаются вектора сил, характеризующих напряженности, например, электрического и магнитного полей в случае электродинамики.

Уравнения поля опять дают возможность — по определенным комбинациям производных от этих напряженностей, по координатам и времени — выявить новые, еще более глубокие и фундаментальные объекты физической

¹⁹ К. Годбийон. Дифференциальная геометрия и аналитическая механика. М., 1973.

²⁰ S. MacLane. Hamilton Mechanics and Geometry. — «American Mathematical Monthly», 1970, v. 77, p. 570.

реальности — заряды и токи, порождающие силовые поля. И снова, если закон изменения зарядов и токов в пространстве и времени известен хотя бы чисто эмпирически, уравнения поля позволяют полностью рассчитать распределение в пространстве и зависимость от времени любых сочетаний физических полей (по крайней мере, в принципе).

Относительно конкретной математической структуры общих уравнений поля можно также поставить целый ряд вопросов, на которые до сих пор нет удовлетворительного ответа: почему в них входят именно данные, а не какие-то другие комбинации производных от величин поля по координатам и времени? И почему они допускают формулировку и более быстрое решение с помощью особых вспомогательных величин — потенциалов, которые определяются всегда не однозначно, а только с точностью до так называемого калибровочного преобразования?

Как и в случае уравнений механики, попытки ответа на эти и им подобные вопросы уже предприняты в работах целого ряда исследователей, которые и для случая электродинамики установили аналогичный, но менее неожиданный в данном случае результат: с помощью теорем де Рама уравнения Максвелла можно, оказывается, также записать без каких-либо ссылок на расстояния между отдельными точками четырехмерного пространства-времени.

Уравнения Максвелла, оказывается, характеризуют тогда только чисто топологические свойства расслоенного пространства²¹, используемого при строгом и систематическом построении теории поля. Каждая пара уравнений утверждает, что определенным образом задаваемые четырехмерные группы гомологий силовых линий магнитного поля и (задаваемые несколько другим способом) группы когомологий силовых линий электрического поля отличны от нуля и определяются только зарядами и токами (включая ток смещения).

Эта новейшая — неметрическая, существенно топологическая формулировка уравнений Максвелла в некото-

²¹ Ч. Мизнер, Дж. Уилер. Классическая физика как геометрия.— В кн.: Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., 1962, стр. 262 и сл.

ром смысле даже проще обычной — дифференциальной (или интегральной) их формы. Она использует только качественные характеристики электромагнитного поля, например, тот факт, что магнитные силовые линии не имеют ни конца, ни начала, что они концентрически «обвивают» (в перпендикулярной плоскости) токи и переменные во времени электрические поля. Электрические же силовые линии или начинаются в рядах или так же концентрически перпендикулярной плоскости на переменное поле. Перечисленных фундаментально не количественных, а эмпирических законов электромагнетизма уже вполне достаточно, чтобы записать уравнения Максвелла как способ задания так называемых групп гомологий и когомологий поля.

И только потом, благодаря теоремам о сохраняющемся изоморфизме (в определенных пределах) этих алгебраических групп дифференциальных гомологий и когомологий, задаваемым с помощью производных (и интегралов), можно получить (дифференциальную или интегральную) формулы Максвелла для привычных нам метрических пространств.

Квантовая теория делает объектом изучения движение порождающих силовые поля зарядов и токов. Движение не простое, не механическое, совершающееся только по одной-единственной траектории, а совершающееся с определенной степенью вероятности сразу по всем траекториям, соединяющим его начальную и конечную точки (как это утверждает новейшая, *фейнмановская формулировка квантовой механики*)²². Базой расслоенных пространств становится, таким образом, пространство всевозможных четырехмерных путей, а слоем — совокупностью зависимых переменных — вероятности каждого такого пути, характеризующиеся волновыми функциями. Уравнение Шредингера — или другие уравнения: Дирака, Клейна — Гордона и т. д. — позволяют выделить новые элементы физической реальности.

²² Р. Фейнман, А. Хибс. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М., 1968.

сти — квантовые формы наиболее вероятной (устойчивой или квазистационарной) организации материи в виде атомов, их возбужденных состояний, молекул (колеблющихся, вращающихся или вступающих в определенные химические реакции и т. д.).

Большой интерес в методологическом плане представит анализ всех таких простейших решений квантовомеханических уравнений в аспекте установления их связи с определенными структурными элементами абстрактных схем Гротендика. Используя аналогии, высказанные в свое время Дайсоном, можно утверждать, что физика сделает свой следующий фундаментальный шаг после того, как будет найдено несколько новых формулировок квантовой теории. Как известно, концептуальный переход от ньютоновой формулировки классической механики к механике квантовой очень труден и исторически становится возможным после создания гамильтоновой формы уравнений Ньютона. И фейнмановская формулировка квантовой механики играет сейчас роль, аналогичную лагранжовой форме механики классической. Для перехода же к изучению общих форм организации материи — как на уровне элементарных частиц, так и на уровне биологических объектов, — вероятно, наиболее перспективной окажется еще одна формулировка квантовых законов — на этот раз с помощью структур абстрактных пространств Гротендика.

Важную проблему, требующую специального рассмотрения, составляет в современном теоретическом естествознании восхождение от абстрактных категорий и функторов, наделяемых некоторой топологией и превращающихся благодаря этому в ситэ, к особым «самосогласованным» функторам, превращающимся в пучки и в совокупности всех пучков определенного типа — топосы. Последние и задают законы движения, представляя собой высший этап такого восхождения. А именно: длительные и многосторонние экспериментальные исследования некоторых пучков (например, пучков всех, какие только возможны, механических движений, или «всех» электромагнитных или всех квантовых полей, — строго говоря, топоса этих пучков) рано или поздно обнаруживают, что относительно этих пучков выполняется свойство так называемой накрывающей гомотопии.

Это последнее носит совершенно фундаментальный

характер в современной математике и сейчас является, в сущности говоря, самым общим определением расслоенного пространства²³. Оно состоит в том, что если мы установили некоторое разделение зависимых и независимых структур теории, то характер этой зависимости должен оставаться все время одним и тем же.

Таким образом, свойство накрывающей гомотопии выделяет из всего многообразия структур, зависящих от других, параметризующих их структур, класс таких особо «прочных» и инвариантных проекций, который «выдерживает», сохраняет свой характер при произвольных непрерывных деформациях, характеризующих эти структуры параметров. Пока что нам не известен до конца физический смысл этих требований, но некоторые теоремы Бурбаки и более молодых авторов (Телеман²⁴ и другие) позволяют предполагать, что именно свойство накрывающей гомотопии позволяет ввести в произвольном собрании объектов связности и инфинитезимальную метрику, что является необходимым условием формулировки универсальных законов в форме любых дифференциальных уравнений.

Таким образом, универсальные законы движения физических объектов предстают перед нами как высший этап конкретизации процесса наделения применяемых для их описания теоретических конструкций все большим и большим числом ограничивающих, конкретизирующих математических структур. На первом этапе конкретизации на самые общие рамки теоретического описания в виде категорий и функторов накладываются только «первые» геометрические — топологические ограничения. Уже одно это позволяет определенным образом локализовать и индивидуализировать изучаемые объекты.

Превратившиеся благодаря топологии в ситэ категории позволяют на следующем этапе выделить среди различных типов зависимых структур — функторов некоторые, особым образом внутренне самосогласованные, пучки. Категория всех пучков определенного рода — то-

²³ Ж.-П. Серр. Сингулярные гомологии расслоенных пространств.— В сб.: «Расслоенные пространства и их приложения». М., 1958, стр. 32.

²⁴ К. Телеман. Элементы топологии и дифференцируемые многообразия. М., 1967, стр. 296 и сл.

пос — позволяет поставить вопрос о наиболее общей вариации абстрактных структур данной теории. В теории элементарных частиц, например, он встает как вопрос о топосе всех, самых различных квантованных полей над данным физическим пространством. И, наконец, кратко описанные только что свойства накрывающей гомотопии позволяют теперь ввести высшую форму конкретности теоретического описания интересующих нас объектов — расслоенные пространства физических законов движения.

4.3. Движение и рост организации объектов

«Что же дальше?» — имеет право спросить в этом месте читатель. Именно здесь перед нами во всей глубине открывается захватывающая пропасть неизвестного в современной науке. На одной, более известной, так сказать, «физической» стороне ее мы видим более или менее строгое и четкое переплетение ажурных структур самых различных (вложенных друг в друга) расслоенных пространств механики, электродинамики, квантовой теории. Они в принципе определяют сколь угодно сложное поведение любых сочетаний неживых объектов — от галактик и нейтронных звезд до атомных ядер и молекулярных и кристаллических структур. На другой же — «биологической» стороне пропасти мы еще только начинаем угадывать гораздо более причудливые и непривычные для классического естествознания конструкции неметрических топологий на многообразных структурных уровнях живого. На этих уровнях совершаются постоянные, спонтанно-активные проникновения самых различных биологических комплексов в свое непосредственное «будущее» — в ходе столь характерных для живого квантовых процессов «измерения» своего окружения фенотипическими и генотипическими комплексами «живых» молекул. В ходе этих «измерений» формируются постоянные, устойчиво «канализированные» траектории движения — креоды самых различных компонентов живого, образующие новые физико-биологические «пространства» самовоспроизводящихся и самоусложняющихся систем фон Неймана.

Можно ли перекинуть теоретический «мост» от уже хорошо изученных, ставших «классическими» расслоенных пространств и уравнений движения современной фи-

зики к этим принципиально новым структурам живого? Окончательный ответ на этот вопрос может дать, разумеется, только будущее развитие всего комплекса естественных — как физических, так и биологических — наук. Заранее нельзя, конечно, исключить и такую возможность, что уже существующие в настоящее время физические научные дисциплины — и в первую очередь квантовая механика и квантовая теория поля — вполне достаточны для построения единого теоретического описания как живой, так и неживой материи.

Однако исторические параллели и наиболее перспективные теоретические построения как физики, так и биологии последних лет, кратко проанализированные выше, делают, нам кажется, более правдоподобным прямо противоположный вывод: скорее всего «теоретический» мост от физики к биологии будет переброшен в ходе бурной научной революции. Возможно, что в ходе этой революции мы научимся и на неживое, которое ныне считается более или менее хорошо изученным современной наукой, смотреть несколько иными глазами, чем это делается сейчас.

Это касается и свойств локализации и индивидуализации элементарных структур объектов — ведь трудности современных теорий элементарных частиц коренятся именно в этом пункте. Уже само неявное обычно предположение, что свойства физического пространства-времени исчерпывающим образом описываются обычными геометрическими аксиомами, с железной необходимостью влечет за собой отказ от надежды объяснить средствами современной физики организацию объектов — будь то в форме «спектроскопического» многообразия элементарных частиц, или же в виде самых разнообразных структур живого.

Формы организации материи связаны с некоторыми новыми способами детерминации целым конкретной структуры всех своих компонентов. До сих пор физика основательно исследовала только самый простой тип детерминации такого рода — тип, в котором все воздействия целого на его части осуществляются очень слабо, только с «помощью» пространства, в котором они помещаются.

Поэтому вполне естественно, что попытки теоретически объяснить организацию материальных объектов в

рамках одной лишь тривиальной топологии заканчиваются неудачей. Для получения «спектра масс» элементарных частиц или теоретического вывода всего многообразия структурных компонентов живого необходимо предварительно изучить более сложные способы детерминации целым всех своих частей, чем это предполагают современные научные дисциплины. Абстрактные пространства Гротендика, вероятно, и предоставляют впервые именно такую, вполне конкретную и серьезную, допускающую точные математические экспликации, возможность.

Итак, нам представляется далеко не случайным, что почти все важнейшие закономерности, открытые естествознанием XX в. (группа Лоренца в теории относительности, свойства симметрии элементарных частиц или единый для всего живого генетический код), носят по своей природе существенно неколичественный характер. Ведь в свете только что сказанного всякое измерение любой величины, характеризующей некоторый объект, необходимо предполагает, что целое и часть в этом объекте соотносятся в определенной степени только простейшим способом: любое целое можно получить, «складывая» его из простейших элементов.

Перечисленные же выше открытия говорят о том, что структура и организация живых и неживых объектов, их наиболее фундаментальные свойства вовсе не являются аддитивными.

Иными словами, их сущность не сводится к одним лишь количественным отношениям.

Более глубокие же, теоретические аспекты физики и биологии — и, конечно же, в первую очередь — проблемы поисков универсальных, общих как для физики, так и для биологии законов движения — будут формулироваться теперь уже с помощью только гораздо более общих в математическом плане, топологических, теоретико-групповых и теоретико-информационных структур. Поскольку для элементарных частиц весьма характерно усложнение их «внутренней организации» по мере роста их энергии, а биологические структуры обнаруживают аналогичное прогрессивное усложнение своей организации по мере протекания эволюционного процесса, встает вопрос о связях, которые необходимо должны существовать между соответствующими типами организации. Эти общие для

них связи должны со временем получить соответствующую математическую экспликацию²⁵.

Поэтому в заключение мы хотели бы обратить особое внимание на принципиальную важность так называемых топологических характеристик двойственности изучаемых объектов (групп гомологий данного объекта и двойственных им групп когомологий пространства «минус» часть его, занимаемая объектом). Некоторые теоретические исследования последнего времени позволяют предполагать, что именно с помощью этих групп можно будет сформулировать наиболее общие законы движения природных — как живых, так и неживых — объектов.

²⁵ G. Cocconi. The Role of Complexity in Nature. In: «Evolution of Particle Physics». N. Y., 1970, p. 81.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая	
Необходимость математической и концептуальной модернизации физики наших дней	9
§ 1. Спектроскопия субмикромра и диалектика	9
1.1. Современный этап в развитии физики и философия	9
1.2. Черты «объективной» диалектики мира элементарных частиц	14
1.3. Диалектика непрерывного и дискретного: поле и вещество	21
§ 2. Развитие важнейших понятий физики элементарных частиц	28
2.1. Основные направления исследований	28
2.2. Материалистическая диалектика о становлении новых научных понятий	36
2.3. Идея информационной емкости	41
2.4. Физика элементарных частиц и современная математика	46
§ 3. Неисчерпаемость материи вглубь и концептуально-математическая модернизация современной физики	53
3.1. Новая стадия развития физической науки	53
3.2. Виртуальные процессы и неисчерпаемость связанных с ними структур	57
3.3. Возможность различных топологий и теорий множеств в микромире	66
Глава вторая	
Различные подходы к синтезу физики и биологии в наше время	71
§ 1. Молекулярная биология и материальное единство органического и неорганического мира	71
1.1. Органическая атомистика: аминокислоты и нуклеотиды	71
1.2. Надмолекулярные уровни организации живого	77
1.3. Эмбриогенез с точки зрения молекулярной биологии	83
§ 2. Общая теория систем: Л. фон Берталанфи и другие	88
2.1. Пионеры поисков теоретического синтеза физики и биологии	88

2.2. Целостность системных объектов	93
2.3. Обязательное наличие нескольких уровней	96
§ 3. «Абстрактная» («математическая») биология (и биофизика): Н. Рашевский и другие	101
3.1. Возникновение «абстрактной» биологии	101
3.2. Наиболее общее изменение динамических структур живого	104
3.3. Математическая теория категорий в биологии	108
§ 4. Теоретическая биология: К. Уоддингтон и другие	114
4.1. Устойчиво канализированные траектории движения биологических структур — креоды	114
4.2. Организмы и белковые молекулы как квантовые «измерительные приборы»	122
4.3. Методологическая оценка идей Р. Тома	127
§ 5. Некоторые вопросы современной теории эволюции: А. Н. Северцов и другие	131
5.1. Проблема прогресса в биологии	131
5.2. Обобщенно-пространственные аспекты эволюционной теории	136
5.3. Пространства самовоспроизводящихся систем фон Неймана	141
Глава третья	
Возможная концептуальная база теоретического синтеза физики и биологии	150
§ 1. Пространства динамических перестроек структур и усложнения организации	150
1.1. Класс зеноново-евдоксовых методологических проблем	150
1.2. Возможная экспликация понятий структуры и организации	156
1.3. Проблема локализации и индивидуализации объектов	160
§ 2. Универсальные операциональные процедуры	164
2.1. Класс декартово-эйнштейновых проблем	164
2.2. Наиболее общие рамки теоретического описания в наши дни: категории и функторы	168
2.3. Предельный переход и ситэ	173
§ 3. Поиски элементарного объекта	179
3.1. Класс элеато-гераклитовых проблем	179
3.2. Элементарные объекты физики и биологии	182
3.3. Наиболее общая вариация динамических структур теории	187
§ 4. Универсальные законы движения	193
4.1. Класс галилеево-ньютонических проблем	193
4.2. Физика как теория расслоенных пространств	195
4.3. Движение и рост организации объектов	202

Игорь Алексеевич Акчурич

Единство естественнонаучного знания

*Утверждено к печати
Институтом философии АН СССР*

Редактор *Я. А. Мильнер*
Художественный редактор *Н. Н. Власик*
Художник *Э. Л. Эрман*
Технические редакторы *Л. И. Куприянова* и *С. Г. Тихомирова*

Сдано в набор 3/VI 1974 г. Подписано к печати 23/VIII 1974 г.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2.
Усл. печ. л. 10,92. Уч.-изд. л. 11,1.
Тираж 7600 экз. Т-12285. Тип. зак. 4169.

Цена 67 коп.

Издательство «Наука».
103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука».
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

67 коп.

2