

ЛАТВИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. ПЕТРА СТУЧКИ

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ И ПРИНЦИП ИНЕРЦИИ

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ, ТОМ 128

РИГА 1970

ЛАТВИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. ПЕТРА СТУЧКИ
КАФЕДРА ФИЛОСОФИИ

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ И ПРИНЦИП ИНЕРЦИИ

(ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ)

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ, ТОМ 128

РИГА 1970

1

Научный редактор кандидат философских наук Ю. П. Ведин.



1795 - 19 - 70

✓ ~~1795-19-70~~

2000 23185

Задачей настоящего выпуска ученых Записок является анализ проблемы сохранения и инерции на широком философском и естественнонаучном материале.

В работе рассматривается один из важнейших принципов диалектико-материалистической философии — принцип сохранения и его роль в современном естествознании. Анализ проблемы начинается с выяснения основных этапов развития идеи сохранения в философии и естествознании. Определяется место принципа сохранения в системе философского знания, соотношение его с принципом причинности, структурными закономерностями и т. д. В Записках рассматривается соотношение философских и естественнонаучных представлений о сохранении. Исследуется специфика проявления сохраняемости на различных уровнях структурной организации материи, соответственно — в физике, химии, биологии и других науках.

Специально рассматривается проблема инертных свойств материи, которые являются выражением устойчивости материальных систем. В этой связи обсуждаются дискуссионные вопросы о сущности инерции, принцип Маха и др.

В работе дана критика различных идеалистических и метафизических концепций по рассматриваемым вопросам.

Работа рассчитана на преподавателей, аспирантов, студентов старших курсов и всех лиц, изучающих философские проблемы современного естествознания.

ВВЕДЕНИЕ

В своей программной статье «О значении воинствующего материализма» В. И. Ленин обращал внимание философов-марксистов на необходимость «следить за вопросами, которые выдвигает новейшая революция в области естествознания»¹, давать им диалектико-материалистическую оценку, вести борьбу против всех отступлений от научного мировоззрения.

Одной из фундаментальных проблем современного естествознания и философии является проблема сохранения. Признание несотворимости и неуничтожимости материи и движения всегда лежало в основе материалистического мировоззрения; с открытием законов сохранения этот тезис получил естественнонаучное обоснование. Давая общую оценку закону сохранения и превращения энергии, Ф. Энгельс охарактеризовал его как «великий основной закон движения»². Он поставил этот закон в число трех великих открытий естествознания середины XIX века, которые больше всего способствовали утверждению диалектико-материалистического взгляда на мир. В. И. Ленин в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм» назвал закон сохранения и превращения энергии «установлением основных положений материализма»³. В оценках, которые даны Энгельсом и Лениным закону сохранения энергии, раскрывается большое мировоззренческое значение законов сохранения.

Современная физика раскрыла глубокую связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени, внутренней симметрией фундаментальных частиц материи и принципами инвариантности. Законы сохранения, принципы симметрии

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 45, стр. 29.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 13.

³ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 353.

и инвариантности образуют единый комплекс представлений, который называют принципами сохранения. По мере развития теоретического естествознания становится все более ясным, что принципы сохранения — явно или неявно — входят в структуру любой естественнонаучной теории, т. е. они являются принципами познания. Гносеологическая функция принципов сохранения тесно связана с логико-методологической их функцией.

Большое внимание принципам сохранения уделяли М. Планк и А. Эйнштейн. Различные аспекты принципов сохранения анализируются в трудах таких известных естествоиспытателей, как Д. Бом, М. Борн, С. И. Вавилов, Г. Вейль, В. И. Вернадский, Е. Вигнер, А. Ф. Иоффе, Л. Д. Ландау, М. Лауэ, В. Паули, Р. Фейнман, В. А. Фок, А. В. Шубников, У. Росс Эшби и др. В нашей философской литературе исследование проблемы сохранения все более активизируется. За последнее время опубликован ряд работ, в которых специально или в связи со смежной проблематикой рассматривается сохранение материи и движения, анализируются различные философские аспекты принципов сохранения: это работы Л. Б. Баженова, В. Н. Веселовского, В. С. Готта, Ф. М. Землянского, В. А. Любичанковского, С. Т. Мелюхина, М. В. Мостепаненко, Н. Ф. Овчинникова, А. Ф. Перетурина, В. И. Свидерского, Ю. А. Урманцева, А. Д. Урсула, А. В. Шугайлина, Л. И. Щёкиной и др.

Необходимо также отметить здесь работы Я. М. Гельфера по истории законов сохранения и Б. Г. Кузнецова по истории развития основных физических идей, в которых рассматриваются и методологические аспекты принципов сохранения.

В ряде работ выдвинуты интересные концепции, которые представляются весьма перспективными для дальнейшей разработки принципов сохранения: принцип сохранения симметрии (Н. Ф. Овчинников), принцип универсальности поли- и изоморфизма в живой и неживой природе (Ю. А. Урманцев) и некоторые другие.

Теперь можно вполне определенно сказать, что свойства сохранения характерны для любой формы движения, для всех областей действительности — для непосредственного бытия (объективной реальности) и опосредованного, отраженного бытия (сознания), а потому принципы сохранения входят в структуру любой теоретической конструкции, а не только естественнонаучной теории. Этот вывод в общем виде однозначно следует из фундаментального диалектико-материалистического положения о единстве изменения и сохранения, которое выражает

противоречивую структуру материального движения. Задача настоящей работы состоит в том, чтобы показать справедливость этого утверждения для естественных наук и важность его для научного познания. Одним из руководящих принципов всего исследования является идея В. И. Ленина о всеобщности отражения, выдвинутая им в книге «Материализм и эмпириокритицизм». Мы исходим из того, что общая структура движения изоморфна общей структуре отображения: в обоих случаях имеет место единство сохранения и изменения, причем сохранение выступает как инвариант изменений.

Заметим, что термин «инвариант» все чаще употребляется в различных областях знания как синоним термина «сохранение»: инвариант есть нечто устойчивое, сохраняющееся, неизменное в потоке изменений; мы также будем следовать этой тенденции, которая свидетельствует о превращении понятия инвариантности в общенаучную категорию. Все специальные виды инвариантности, известные в естествознании (математические и физические инварианты), в этом случае будут выступать как конкретные формы актуализации общей идеи инвариантности (сохранения).

Принципы сохранения в современной физике тесно связаны с проблемой инерции: принцип инерции имеет самое непосредственное отношение к законам сохранения, к принципам инвариантности и симметрии в физике. В самом общем плане можно сказать, что инерционные свойства являются фундаментальным выражением устойчивости материального движения. Ф. Энгельс писал, характеризуя механику как науку, что «точкой отправления для нее была инерция, являющаяся лишь отрицательным выражением неуничтожимости движения»¹.

Здесь подчеркиваются два существенно важных момента в характеристике инерции: 1) указывается, что понятие инерции лежит в основе механики; этим определяется место понятия инерции в структуре физической теории; 2) раскрывается философское, мировоззренческое значение понятия инерции как выражения сохраняемости движения. Механика, понимаемая в широком плане, составляет основу физического знания, поэтому можно сказать, что понятие инерции относится к числу исходных физических понятий.

Макс Лауэ в своей статье «Инерция и энергия», отмечая, что в современной физике законы сохранения имеют фундаментальное значение, на первое место среди всех законов сохранения

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч. т. 20, стр. 343.

ставит «принцип инерции, который утверждает сохранение линейного импульса»¹. Напомним, что эта статья Лауэ получила высокую оценку Эйнштейна. Закон инерции, который для свободного тела совпадает с законом сохранения импульса, был исторически первым законом сохранения, установленным в физике. Сами законы сохранения выполняются лишь в таких системах отсчета, которые покоятся или движутся относительно друг друга равномерно и прямолинейно. Такие системы называются **инерциальными**; представление об инерциальных системах базируется на принципе инерции.

Инерциальные системы отсчета характерны тем, что все законы природы протекают в таких системах совершенно одинаково: при переходе от одной инерциальной системы к другой физические законы не меняют своего вида. Это обстоятельство выражается принципом релятивистской инвариантности. Сама эта инвариантность ведет к особому закону сохранения — обобщенному закону сохранения движения центра тяжести системы. Закон инерции (закон сохранения импульса) соответствует однородности, т. е. симметрии, пространства. Релятивистская инвариантность выражает симметрию всего множества инерциальных систем относительно подстановок. Как видим, представления, непосредственно связанные с принципом инерции, входят составной частью в структуру принципов сохранения и вместе с ними — в структуру физических теорий.

В общей теории относительности (ОТО) раскрывается связь инерции и тяготения. Большой интерес для философии представляет обсуждение вопросов, связанных с «принципом Маха», который является попыткой космологического истолкования принципа инерции.

Принципы сохранения и принцип инерции выступают как единая проблема с двух точек зрения: во-первых, принцип инерции является выражением свойств сохранения; во-вторых, сами принципы сохранения в физике формулируются на основе представлений, связанных с принципом инерции. Это единство свойств сохранения и инерционных свойств на уровне физической формы движения авторы и стремились показать в настоящей работе.

¹ Макс Лауэ. Статьи и речи. М., 1969, стр. 163.

МАРКОВ В. А.,
кандидат философских наук

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ В ФИЛОСОФИИ И ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

I

СОХРАНЕНИЕ КАК ФИЛОСОФСКАЯ ПРОБЛЕМА

Значение идеи сохранения для философии и естествознания более масштабно раскрывается при историческом подходе к данной проблеме. Надо выяснить, хотя бы в самых общих чертах, предысторию и историю проблемы сохранения, проследить эволюцию идеи сохранения в философии и естествознании. Это облегчит последующий концептуальный анализ идеи сохранения и послужит отправной точкой для рассмотрения принципов сохранения в современном естествознании.

1. Из истории вопроса

Первичное биение человеческой мысли, в котором ретроспективно угадывается зарождение идеи сохранения, мы обнаруживаем в мифологических представлениях первобытных народов.

Исследователи ранних форм религии отмечают, что идея сотворения мира совершенно чужда неразвитому сознанию австралийцев, религиозные верования которых являются наиболее архаичными из всех форм религий, доступных непосредственному изучению¹. Вопрос о происхождении мира на этой стадии развития еще не возникает.

В мифологии многих народов мира обнаруживаются сходные космогонические мотивы: некоторое материальное первоначало, дальше которого мысль не идет (земля, вода, хаос), и боги-демиурги, создающие видимый мир путем упорядочения, трансформации этой первичной земли, воды, изначального хаоса и т. п.

Как видим, креационистские идеи (идеи о творении) охва-

¹ См. С. А. Токарев. Ранние формы религии и их развитие. М., 1964, стр. 351.

тывали в период существования политеистических религий лишь область упорядочения мира. Упорядоченность мира (область отношений) казалась менее «прочной», и боги-демиурги могли творить видимый мир по своему усмотрению из предвечно существующей материальной «заготовки» (хаос) и возвращать его снова в исходное состояние. Только безличный бог монотеистических религий творит мир из ничего и устанавливает в нем свой порядок (иудейско-христианская религия)¹. Подчеркнем, что идея об изначальном существовании материальной первоосновы вещей, интуитивно возникшая в рамках мифологии, — одна из немногих мощных идей, дошедших в преобразованном виде до наших дней.

Философия как форма общественного сознания возникает из мифологии. При этом философия наследует и развивает те коренные проблемы бытия, которые были в персонифицированном виде (добрые и злые духи, боги, герои и т. п.) поставлены в рамках мифологии. Так было и с проблемой сохранения. Из различных мифологических ее решений возникли со временем материалистическая и идеалистическая точки зрения по данному вопросу.

В странах Древнего Востока (Индия, Китай) сложились ясно выраженные материалистические направления. Так, одно из самых развитых материалистических учений в древнеиндийской философии — санкхья считало единственной реальностью материю — **пракрити**, которая существует вечно и никем не сотворена; мир находится в процессе постоянного самосозидания и разрушения. Первоначальным состоянием пракрити, с которого начинается эволюция мира, является состояние аморфной и недифференцированной материи².

Наиболее ярким выражением материалистической линии в философии древней Индии была школа чарвака, или локаята. Чарваки считали, что весь мир образован из комбинации четырех вещественных первоэлементов — воздуха, огня, воды и земли; элементы самостоятельны, они наделены внутренней силой. Ло-

¹ Как пишет прогрессивный французский ученый Поль Лаберенн, первоначальные варианты Библии еще не содержали в себе идеи о творении мира из ничего. «Конечно, первые составители книги Бытия, находившиеся под влиянием вавилонян и египтян, предполагали существование первичного хаоса. Однако, очень быстро точка зрения о всемогуществе бога заставила принять иное толкование, ставшее затем преобладающим...», а именно версию о сотворении мира из ничего (*П. Лаберенн. Происхождение миров. М., 1957, стр. 66*).

² См. *Н. П. Аникеев. О материалистических традициях в индийской философии. М., 1965.*

каятики признавали вечность материального мира и отвергали идею бога как творца вселенной¹. Широкое распространение в древнеиндийской философии получили атомистические концепции. Атомы вечны, неизменны, неделимы, качественно разнообразны (в некоторых школах принималась качественная однородность атомов).

В индийской философии сделана серьезная попытка сформулировать философское понятие материи; при этом выделялись основные атрибутивные свойства материи: движение, пространство, время, сохранение, причинность. В системе санхья в явном виде поставлен вопрос о количественной сохраняемости материи и движения. В тесной связи с принципом сохранения материи формулируется положение о материальном тождестве причины и следствия. Каждая вещь (продукт) имеет свою причину. «Продукты причинны, а пракрити непричинна; продукты зависимы, а пракрити независима; продуктов много, они ограничены в пространстве и времени, а пракрити одна, она всепроникающа и вечна... Практики никогда не может погибнуть и, следовательно, никогда не могла быть создана»². Практики — первичная форма бытия, из которой вытекают различные порядки существования.

Достижения философской мысли Древнего Востока оказали непосредственное влияние на развитие греко-римской философии. Одной из особенностей античной философии было то, что среди нерасчлененных еще знаний о мире определяющую роль играли натурфилософские представления. Античные мыслители выдвинули или развили далее ряд глубоких философских и естественнонаучных идей, которые оказали большое влияние на все последующие эпохи.

Первые греческие философы (ионийская школа) были наивными материалистами и стихийными диалектиками. В качестве первоосновы мира они принимали некоторый материальный, вещественный субстрат — воду (Фалес), воздух (Анаксимен), огонь (Гераклит), апейрон, т. е. беспредельное, неопределенное (Анаксимандр). «Из тех, кто первые занялись философией, — писал Аристотель, характеризуя философию ионийцев, — большинство считало началом всех вещей одни лишь начала в виде материи: то, из чего состоят все вещи, из чего первого они возникают и во что в конечном счете разрушаются, причем основное

¹ См. С. Чаттерджи и Д. Датта. Введение в индийскую философию., М., 1955, ч. 2.

² С. Радхакришнан. Индийская философия, т. II, М., 1957, стр. 229.

существо пребывает, а по свойствам своим меняется... И вследствие этого они полагают, что ничто не возникает и не погибает, так как подобная основная природа всегда сохраняется...»¹

Как видим, уже самые первые шаги философской мысли в древней Греции были направлены на поиски материальной первоосновы вещей, субстанции мира. Вместе с вопросом о субстанции была поставлена и проблема сохранения, ибо субстанция, как бы примитивно ее ни понимали античные мыслители, во всех натурфилософских учениях наделялась атрибутом сохранения. Материальное первоначало в философии ионийцев обладало внутренней активностью, самодвижением; такие диалектические моменты особенно характерны для Гераклита.

Конечно, сама по себе идея первоначала, первовещества и т. п. не приемлема, — пишет Т. И. Ойзерман, — «но если учесть, что имеется в виду отнюдь не начало мира во времени, а лишь всеобщая основа (и источник) многообразия единичных вещей, то становится понятным, что это исходное положение не противоречит основному материалистическому убеждению и включает в себе глубокую диалектическую догадку о единстве конечного и бесконечного, преходящего и вечного, единичного и общего.»²

Большое место в античной натурфилософии занимают космогонические концепции. Ионийцы представляли эволюцию мира как его непрекращающееся движение от «хаоса» (состояние полной неупорядоченности) к «космосу» (упорядоченный видимый мир) и обратно. Здесь в примитивной форме ставится вопрос о качественной неуничтожимости материи и движения.

Однако философская мысль не могла удовлетвориться конкретно чувственными представлениями о субстанции, закономерности и т. п. Первые успехи античной науки в области математики и механики, дальнейшее развитие абстрактного мышления требовали более общего и глубокого подхода к вопросу о закономерностях бытия.

Своеобразным ответом на этот вопрос явилось учение пифагорейцев. Они развивали взгляды, согласно которым в основе всех вещей лежат числа. Если отбросить идеалистическую и религиозно-мистическую сторону в учении пифагорейцев, то можно увидеть в их философии ряд рациональных моментов.

¹ Аристотель. Метафизика. М.—Л., 1934, стр. 23.

² Т. И. Ойзерман. Проблемы историко-философской науки. М., 1969, стр. 241.

Они первыми поставили вопрос о количественных закономерностях в окружающем мире, об отношениях и их числовом выражении. Пифагорейцы пытались с помощью чисел выделить устойчивые отношения в мире. «Они исторгли постоянное отношение из вечной переменяемости феноменального бытия, и оно в самом деле царит над всем сущим. Математическое мирозерцание, основанное пифагорейцами и получившее богатое развитие в новейшие времена, потому и сохранилось через все века, что в нем есть сторона, глубоко истинная...»¹ В учении пифагорейцев ведущими были идеи мировой гармонии, порядка, которые сводились к гармонии чисел и их отношений.

Элеаты сосредоточили свое внимание на проблеме бытия. Они придали учению о субстанции чрезмерно абстрактный и вместе с тем метафизический вид. В отличие от ионийцев, которые в своем учении о материальной первооснове вещей подходили к пониманию единства устойчивости и изменчивости, элеаты — Ксенофан, Парменид и др. — абсолютизировали момент устойчивости, сохранения в понятии субстанции. Признавая вечное материальное первоначало (бытие), элеаты считали его неизменным, неподвижным, однородным. Бытие лишено изменчивости и многообразия, оно непрерывно, не возникает и не уничтожается, оставаясь всегда и везде тождественным самому себе. Учение элеатов поставило перед философией во всей остроте проблему единого и многого, тождества и различия, сохранения и изменения. В учении о субстанции элеаты сделали шаг вперед: они впервые поставили задачу — выразить субстанцию в виде понятий, создать ее концептуальную модель, впервые попытались аксиоматизировать учение о бытии. Но одновременно они делали шаг назад, считая движение и изменение не истинным, кажущимся, случайным. Они отрывали материю от движения и тем самым снимали проблему сохранения движения.

Наиболее глубоко проблема субстанции решалась атомистами — Левкиппом, Демокритом, Эпикуром и их последователями. Атомисты подвергли квантификации вечное и неизменное бытие элеатов, чтобы связать в единую картину мир сущностей (абсолютное неподвижное бытие) и мир явлений (реальные движения). Согласно Демокриту, в мире существуют атомы и пустота. Атомы вечны, т. е. несотворимы и неуничтожимы, и неизменны; они бескачественны, неделимы и однородны; друг от друга атомы отличаются только формой, величиной, порядком и

¹ А. И. Герцен. Избр. философ. произведения. Госполитиздат, 1948, т. 1, стр. 148.

положением¹. Изначальным, атрибутивным свойством атомов является движение; в результате столкновения атомов возникают все видимые вещи. Движение, так же как и атомы, существует вечно. Проблему сохранения материи и движения атомисты решали чисто качественно, поскольку количественные закономерности движения тогда были совершенно неизвестны.

Идея квантификации оказалась чрезвычайно плодотворной для науки. Она состоит в выделении для данного класса явлений исходных, простейших элементов — вещей, свойств или отношений, далее неразложимых и неизменных; комбинация таких элементов (понимаемая в широком смысле, включающем в себя и представления о целостности, возникновении нового качества) позволяет описать все явления и события данного класса. Наиболее ярко идея квантификации «вещей» проявляется в химической атомистике.

Подчеркнем, что древнегреческие атомисты впервые связали проблему сохранения с идеей дискретности. Поэтому им удалось сделать новый шаг по сравнению с ионийцами в раскрытии единства сохранения и несохранения, устойчивости и изменчивости.

Ионийские натурфилософы и атомисты подходили к проблеме сохранения с прямо противоположных позиций: первые — с точки зрения континуальных свойств материи (идея непрерывности), вторые — с точки зрения дискретных свойств. «Атомисты, — пишет известный советский историк науки В. П. Зубов, — мыслили все природные изменения как сочетание или разъединение первичных неизменных элементов. Их предшественники, ионийские натурфилософы, представляли себе природные изменения как пластические преобразования первичной (сплошной) материи, способной сжиматься или сгущаться, растягиваться или разрезаться.»²

Представления атомистов о вечности, неизменности, неделимости атомов прочно вошли в сознание философов и естествоиспытателей и удержались в науке вплоть до конца XIX в.

По другому пути пошел Платон, решая проблему устойчивости и изменчивости. Продолжая объективно идеалистическую линию пифагорейцев, Платон дематериализовал бытие элеатов. Истинным бытием у него обладают не сами вещи и не материальное бытие как таковое, а идеи, составляющие якобы под-

¹ См. «Демокрит в его фрагментах и свидетельствах древности». Соц. экгиз, 1935, стр. 37—52.

² В. П. Зубов. Развитие атомистических представлений до начала XIX века. М., 1965, стр. 45.

линную сущность вещей, образующие особый сверхчувственный мир, который «проецируется» в видимый нами мир. Идеи содержат в себе устойчивое, неизменное, сохраняющееся в противоположность текучести чувственно воспринимаемого мира¹. Платон остановил гераклитовский поток («все течет, все изменяется») путем отчуждения от реального мира его общих, а потому и наиболее устойчивых, свойств и отношений, превращая их в самостоятельные сущности, образующие субстанциальный мир идей.

Для такого хода мыслей есть свое гносеологическое объяснение. Дело в том, что всеобщую изменчивость бытия нельзя выразить в понятиях непосредственно. «Мы не можем представить, выразить, смерить, изобразить движения, не прервав непрерывного, не упростив, углубив, не разделив, не омертвив живого. Изображение движения мыслью есть всегда огрубление, омертвление, — и не только мыслью, но и ощущением, и не только движения, но и всякого понятия.»² Любое понятие фиксирует какие-то устойчивые, повторяющиеся моменты, стороны действительности. Концептуальный мир в этом смысле противостоит реальному. В силу этого может возникнуть иллюзия, как это и было у Платона, что сущность вещей, выражаемая общими понятиями, образует особый, субстанциальный мир идей — неподвижных, неизменных, вечных, замкнутых в себе сущностей, отблеском которых являются чувственно воспринимаемые вещи. За фантастической картиной платоновских идей можно разглядеть рациональные моменты, характерные для процесса познания вообще.

Этим исчерпываются основные, наиболее характерные решения проблемы сохранения античными мыслителями — представителями различных философских направлений. Гибель античного мира, возникновение христианства и господство религиозной идеологии в средние века, — все это на многие столетия затормозило развитие научного знания.

Христианские теологи первых веков нашей эры выдвинули догму о сотворении мира богом из ничего, от которой религия не отказалась и поныне. Креационистские идеи, которые, как мы видели, в своей «слабой» форме берут начало в первобытной мифологии, нашли свое завершение в христианской догматике. Но и в условиях господства средневековой схоластики не угасла идея о вечности, несотворимости материи и движения (Си-

¹ См. Платон. Избр. диалоги. М., 1965.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 233.

гер Брабантский, Вильям Оккам). Мысли о сохранении, несотворимости материи, хотя часто в пантеистической форме, высказывали многие передовые мыслители арабского средневековья (Бируни, Ибн Сина, Ибн Рошд)¹.

В недрах феодализма развивались производительные силы, складывались новые общественные отношения, новый взгляд на мир, — возникали предпосылки точного естествознания, возрождались и развивались далее материалистические учения и, соответственно, представления о сохранении материи и ее свойств.

Вместе с возникновением точного естествознания начался новый этап в развитии идеи сохранения. До сих пор проблема сохранения рассматривалась в абстрактно-философском плане, решалась чисто умозрительно; теперь же появилась возможность связать философские выводы с естественнонаучными данными, построить конкретные физические модели сохранения.

Основоположником экспериментальной и теоретической (математической) физики был Галилей. Он впервые ясно осознал ту мысль, что подлинное изучение многообразных явлений в окружающем нас мире возможно только при условии обнаружения в этом изменчивом мире устойчивых, неизменных связей и отношений — законов природы. «Мысль, что посредством эксперимента можно выделить процессы природы, чтобы изучить их детально и при этом вскрыть неизменные законы, содержащиеся в постоянном изменении, не возникла у греческих философов»² и лишь постепенно вызревала в сознании мыслителей догалилеевской эпохи.

Проводя опыты с движением шаров по наклонной плоскости и используя при этом метод «мысленного эксперимента», Галилей впервые формулирует закон инерции (не употребляя еще самого термина «инерция»). Закон инерции можно рассматривать как своеобразный физический закон сохранения, выраженный в негативной форме.

Развивая идеи, высказанные Н. Коперником при разработке гелиоцентрической системы, Галилей формулирует механический принцип относительности: механические процессы не зависят от равномерного и прямолинейного (инерциального) движения системы отсчета, или на современном языке: законы механики инвариантны относительно перехода от одной инерциальной сис-

¹ См. С. Н. Григорян. Средневековая философия народов Ближнего и Среднего Востока. М., 1966, стр. 186, 208, 288.

² В. Гейзенберг. Физика и философия. М., 1963, стр. 51—52.

темы отсчета к другой. Так возникла идея физической инвариантности, оказавшаяся чрезвычайно плодотворной для современной физики и всего теоретического естествознания. Забегая вперед, заметим, что принципы инвариантности значительно углубляют всю проблему сохранения, раскрывают новые ее грани.

Для методологии Галилея характерно, что, выводя количественные закономерности движения, он не довольствуется установлением математических зависимостей, а ищет общий логический принцип, из которого вытекает та или иная форма закона. Этот принцип оказывается принципом инвариантности, который Галилей последовательно применяет при анализе относительности движения, равномерного и равномерноускоренного движения тел. В первом случае раскрывается инвариантность законов механики относительно перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой. Во втором случае независимой от движения, инвариантной величиной является скорость; в третьем — ускорение, где закон изменения скорости оказывается в то же время законом неизменности ускорения¹. В своих поисках инвариантного в мире изменений Галилей подходил к пониманию закона природы как постоянства отношений.

Декарт впервые вводит количественную меру движения тел — произведение массы на скорость mv (хотя у него еще и не было общего понятия массы), которое является сохраняющейся величиной. Сводя все виды движения к механическому перемещению, Декарт сформулировал принцип сохранения количества движения и тем самым дал количественное выражение принципу несотворимости и неуничтожимости движения². Согласно Декарту, количество движения в мире остается неизменным. «Положение Декарта о том, что количество [Menge] имеющегося во вселенной движения остается всегда одним и тем же, страдает лишь формальным недостатком, поскольку здесь выражение, имеющее смысл в применении к конечному, применяется к бесконечной величине.»³ Энгельс отвлекается здесь от чисто механической трактовки движения у Декарта и указывает на принципиальную сторону его положения о количественной сохраняемости движения.

В своей космогонии Декарт исходит из существования первоначального хаоса материи; он считает, что законы природы сами собой распутывают сложность хаоса и приводят материю к

¹ См. Б. Г. Кузнецов. Галилей. М., 1964, стр. 254—255.

² См. Р. Декарт. Избр. произведения. Госполитиздат, 1950, стр. 485.

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

совершенному порядку. Следует отметить, что и Галилей, и Декарт и многие другие мыслители той эпохи не смогли полностью избавиться от теологических креационистских концепций.

В отличие от декартовой меры движения mv , Лейбниц предложил новую меру движения: mv^2 , которую он назвал «живой силой». Понятие силы у Лейбница является прообразом современного понятия энергии. Живая сила выступает как деятельное начало; она характеризует все виды движения в природе. С помощью понятия живой силы Лейбниц формулирует принцип сохранения движения: «Во вселенной всегда сохраняется одна и та же живая сила»¹. Лейбниц высказывал догадки о превращении различных видов движения друг в друга.

Наследуя идеи элейтов, Спиноза развивает материалистическое учение о субстанции, хотя и в пантеистической форме. Субстанция единственна, существует вечно и никем не создается; само понятие субстанции исключает ее несуществование и сотворение. Она существует сама по себе: *natura est causa sui* (природа есть причина самой себя). «Субстанция чем-либо иным производиться не может... Значит, она будет причиной самой себя, т. е. ее сущность необходимо включает в себе существование...»² Сущность субстанции выражается в ее атрибутах, которых имеется бесконечное множество, но нам известны только два — протяженность и мышление. Движение у Спинозы — не атрибут, а только модус субстанции. Идея сохранения в философии Спинозы выступает в самой абстрактной форме — как вечность, т. е. безначальность и бесконечность, существования субстанции во времени.

Английский философ Дж. Толанд пошел дальше Спинозы в разработке проблемы материи и движения (нач. XVIII в.). Он выдвинул положение о том, что материя немыслима без движения, что движение является атрибутом материи. Я утверждаю, писал Толанд, что «движение есть существенное свойство материи, иначе говоря, столь же неотделимо от ее природы, сколь неотделимы от нее непроницаемость и протяжение, и что оно должно входить составною частью в ее определение»³. Материя не является бездейственной, мертвой глыбой, ей внутренне присуща активность; с этой точки зрения можно рационально объяснить сохранение количества движения во вселенной.

¹ G. Leibnitz. Mathem. Schriften, zweite Abt., Bd. II, 1860, S. 36. О понятии силы в истории физики см. M. Jammer. Concepts of force. Cambridge, 1957.

² Б. Спиноза. Избр. произведения, т. 1. М., 1957, стр. 364—365.

³ «Английские материалисты XVIII в.», т. 1. М., 1967, стр. 152.

1795-8-70



Однако проблема самоорганизации материи оказалась для Толанда неразрешимой: в отличие от Декарта он объясняет возникновение существующего в мире порядка деистически.

Основания классической механики и физики были заложены **Ньютоном**. Существенно отметить, что все законы движения в ньютоновской механике являются своеобразными законами сохранения, если последние рассматривать в самом широком смысле. Действительно, закон инерции, согласно Энгельсу, в негативной форме выражает неуничтожимость движения. Второй закон механики можно рассматривать как инвариантность массы относительно динамических взаимодействий тел. Третий закон выражает тот факт, что при всех взаимодействиях неизменным остается равенство действия и противодействия. Следствиями законов механики Ньютона для замкнутых механических систем являются законы сохранения импульса, или количества движения, энергии (в консервативных системах) и момента импульса. Таким образом, в основных законах механического движения содержатся принципы сохранения, выражающие в физическом плане несотворимость и неуничтожимость материального движения.

Механика Галилея—Ньютона в явном или неявном виде опиралась на принципы инвариантности и симметрии, на законы сохранения. Как пишет Е. Вигнер, «вопросы симметрии и инвариантности и даже законы сохранения, несомненно, играли важную роль в мышлении физиков предыдущих поколений, начиная с Галилея и Ньютона и, возможно, еще раньше».¹ Однако основополагающее значение принципов симметрии и инвариантности для теоретической физики было выяснено лишь в XX столетии.

В динамике Ньютона основными понятиями являются масса, сила и ускорение, тесно связанные друг с другом. Масса трактуется у Ньютона как «врожденная сила материи», т. е. как нечто данное, как неотъемлемое свойство всех тел. Ньютон пользуется термином «масса» наряду с понятиями «тело» и «количество материи». Он рассматривает массу как меру материи, возникающую из ее плотности и объема; плотность же можно определить независимо от массы только через число частиц (атомов), находящихся в единице объема. Так на основе старой, традиционной атомистики возникло натурфилософское понимание массы как количества материи, содержащейся в теле. Однако масса является чисто физической величиной, ме-

¹ Е. Вигнер. Симметрия и законы сохранения. «Успехи физических наук», т. 83, вып. 4, 1964, стр. 728.

рой инерционных и гравитационных свойств физических объектов. Ее нельзя рассматривать, как некую «меру» материи вообще, как меру «количества материи». Такая трактовка неправомерна ни с физической, ни с философской точек зрения¹.

Однако исторически представление о массе как количестве материи, содержащейся в теле, сыграло положительную роль. В рамках механистического мировоззрения материя мыслилась как совокупность неизменных, неделимых первоэлементов — атомов. Когда был открыт закон сохранения массы, физические представления о сохранении массы слились с натурфилософской концепцией вечных, неизменных атомов в единый принцип сохранения материи (количества материи), который сыграл огромную роль в борьбе против креационистских концепций.

Первым экспериментально установленным законом сохранения был закон сохранения веса вещества, который дала естествознанию химия. Как само установление сохраняемости веса вещества при различных химических превращениях, так и признание фундаментального значения этого факта для химии и всего естествознания (не говоря уже о мировоззренческом его значении) затянулось на полтора столетия, по крайней мере от Ван Гельмонта до Лавуазье, ввиду того, что вплоть до второй половины XVIII века весовым характеристикам веществ при химических реакциях не придавали серьезного значения.

Еще в начале XVII в. **Ван Гельмонт** доказал опытным путем, что если вещество перевести в раствор и снова осадить, то вес его не изменяется². **М. В. Ломоносов** (1756) установил сохраняемость веса вещества, проводя опыты по прокаливанию в запаянных сосудах. Поскольку вес пропорционален массе, а гравитационная масса равна инерционной, то химический закон сохранения веса вещества стал рассматриваться как закон сохранения массы. Но масса в классическом естествознании трактовалась как мера (количества) материи, поэтому закон сохранения массы принял форму закона сохранения материи.

К середине XVIII в. философская мысль значительно продвинулась вперед в понимании неразрывной связи сохранения материи и сохранения движения. Идея сохранения впервые приняла вид целостной проблемы. В 1748 г. **М. В. Ломоносов** в своем письме к Л. Эйлеру сформулировал единый принцип сохранения

¹ См. об этом: *Н. Ф. Овчинников*. Понятия массы и энергии в их историческом развитии и философском значении. М., 1957; «Философия естествознания», вып. 1. М., 1966, гл. II, § 2.

² См. *Те Сведберг*. Материя. Ее исследование в прошлом и настоящем. М., 1924, стр. 51.

материи и движения, синтезируя идущие из глубины веков представления о несотворимости и неуничтожимости материи и движения в единую концепцию сохранения.

В отличие от интуитивных и чисто качественных представлений о сохранении, имевших место в прошлом, М. В. Ломоносов подчеркивает количественный аспект сохранения материи и движения. При этом Ломоносов опирается на положение Декарта о сохранении количества движения, на достижения философской мысли и естествознания того периода. М. В. Ломоносов писал, что «все изменения, совершающиеся в природе, происходят таким образом, что сколько к чему прибавилось, столько же отнимается от другого. Так, сколько к одному телу прибавится вещества, столько же отнимается от другого. . . Этот закон природы является настолько всеобщим, что простирается и на правила движения: тело, возбуждающее толчком к движению другое, столько же теряет своего движения, сколько отдает от себя этого движения другому телу.»¹

Французские материалисты XVIII века развили дальше учение о материи и движении, их взаимосвязи и сохранении. **Дидро** ставит вопрос о существовании в природе различных форм движения. Он высказывает мысль о существовании закона сохранения силы, который близок по своему виду к закону сохранения энергии в формулировке Гельмгольца. «Количество силы в природе неизменно; но сумма сопротивлений и сумма передвижений изменяются. Чем больше сумма сопротивлений, тем меньше сумма передвижений, и, наоборот, чем больше сумма передвижений, тем меньше сумма сопротивлений»². Если под «передвижением» понимать кинетическую энергию, а под «сопротивлением» — потенциальную энергию («напряжение силы» Гельмгольца), то совпадение будет полное.

Философы-материалисты последовательно проводили принцип сохранения материи, но видели в нем лишь онтологическую сторону; они не смогли показать также единство сохранения и изменения, имеющее место во всех явлениях. Представители немецкой классической философии, в особенности Кант и Гегель, несмотря на свой идеализм, раскрыли ряд диалектических моментов в самой идее сохранения, указали на гносеологические и логические аспекты понятия субстанции.

¹ М. В. Ломоносов. Избр. филос. произведения. Госполитиздат, 1950, стр. 160.

² Д. Дидро. Избр. философ. произведения. Госполитиздат, 1941, стр. 136.

Еще в «докритический» период **И. Кант** обратил внимание на взаимосвязь и взаимопереход явлений сохранения и несохранения, показал рациональный смысл понятия несохранения в применении к конкретным явлениям. Он писал: «всякое исчезновение есть отрицательное возникновение, т. е. для упразднения чего-нибудь положительного, что уже существует, в такой же мере требуется настоящее реальное основание, как и для того, чтобы его произвести, если его еще нет... Природа тел всюду дает нам примеры этого. Движение никогда не может прекратиться ни полностью, ни отчасти, если с ним не будет связана движущая сила, равная той, которая могла бы вызвать это движение, если бы оно прекратилось, но противоположная ей по направлению.»¹

В числе трех т. наз. принципов согласия (т. е. положений, принимаемых аксиоматически в силу того обстоятельства, что без них нельзя было бы составить почти никакого суждения о данном объекте) Кант называет принцип естественной упорядоченности всех процессов во вселенной, который все философы принимали единогласно с самыми редкими исключениями, и принцип сохранения материи (никакая часть материи вообще не возникает и не уничтожается). По поводу принципа сохранения материи Кант пишет: «Этот постулат, по общему указанию интеллекта, проник во все философские школы не потому, чтобы он считался доказанным опытом или утверждался на аргументах а priori, но потому, что если допустить, что сама материя текуча или преходяща, не оставалось бы более ничего совершенно устойчивого и длящегося, что затем служило бы для объяснения феноменов согласно общим и постоянным законам, а, следовательно, и для пользования интеллектом.»²

Философский анализ понятия субстанции, единства устойчивости и изменчивости Кант специально проводит в «Критике чистого разума». Он отмечает, что философы, естествоиспытатели и обыкновенный человеческий рассудок всегда исходили из принципа постоянства субстанций, но при этом никто не пытался его обосновать. Просто утверждать, что субстанция устойчива, тавтологично. Дело в том, что «только эта устойчивость и служит основой того, что мы применяем к явлению категорию субстанции; и здесь надо было бы доказывать, что во всех явлениях есть нечто устойчивое, для чего все изменяемое служит только

¹ *И. Кант. Сочинения*, т. II. М., 1940, стр. 157.

² Там же, стр. 430.

определением его существования.»¹ Итак, субстанция (материя), по Канту, есть всеобщая устойчивая основа изменений. Но как обосновать это исходное положение? Его нельзя непосредственно вывести из опыта, ибо невозможно измерить количество всей находящейся в мире материи и таким путем доказать его постоянство. Невозможно это сделать и чисто логически, путем анализа самих понятий и формулировок принципа сохранения. По Канту, остается только один способ доказательства тезиса о сохранении субстанции — трансцендентальный, суть которого состоит в простом допущении, что без принятия истинности этого положения опыт вообще был бы невозможен.

Кант подходит к пониманию единства устойчивости и изменчивости, сохранения и изменения в окружающем мире: нельзя мыслить изменения, не предполагая в то же время его противоположности, т. е. сохранения, устойчивости, и наоборот. «На этой устойчивости основывается и оправдание понятия изменения. Возникновение и исчезновение не изменения того, что возникает и уничтожается. Изменение есть вид существования, которое в том же самом предмете следует за другим видом существования; поэтому все, что изменяется, пребывает, и меняется только его состояние... мы можем сказать в несколько парадоксальной, по-видимому, форме: только постоянное (субстанция) изменяется, а изменяемое не испытывает изменения, но только смену, где одни определения уничтожаются, а другие возникают»².

Изменения могут быть восприняты только в субстанциях, и абсолютное возникновение или исчезновение, не составляющее определения устойчивого бытия, невозможно.

Однако Кант относит диалектику устойчивого и изменчивого только к явлениям, а не к «вещам в себе», о которых мы ничего не можем знать. Поскольку же явления суть только наши представления, то устойчивость есть не более, как только наш способ представлять себе существование вещей. На этом основании Кант делает вывод, что принцип «из ничего ничто не может возникнуть» несколько не противоречит сверхчувственной вере в зависимость мира от некоей высшей причины. Таким образом, Кант пытается соединить несовместимое: материалистическое решение проблемы сохранения и признание божественных сил, управляющих миром.

Развивая идеи Канта, Гегель в рамках своей философской

¹ И. Кант. Критика чистого разума. СПб, 1896, стр. 168.

² Там же, стр. 170.

системы глубоко раскрыл диалектику устойчивости и изменчивости, проводя ее в учении о бытии, учении о сущности, учении о понятии и т. д. Он вводит понятие **субстрата изменений**. Для того чтобы могло иметь место некоторое изменение, необходимо наличие чего-то пребывающего. Так, определенное вещество переходит из одного агрегатного состояния в другое. Если бы мы имели абсолютно обособленные друг от друга элементы (события, состояния) А, В и С, то ни о каком изменении или развитии в данном случае говорить было бы нельзя. Субстрат как будто относится равнодушно к тем формам, в которые он облекается, и остается одним и тем же вопреки их пестрой игре. Но на самом деле субстрат существует только в этих формах, а формы предполагают свой субстрат. Поэтому субстрат не просто пребывает, он изменяется, поскольку формы этого изменения суть собственное его обнаружение.

Устойчивая, сохраняющаяся основа явлений есть, по Гегелю, закон: «царство законов есть покоящийся образ осуществляющегося или являющегося мира.»¹ Диалектический подход к решению проблемы устойчивости и изменчивости дает возможность Гегелю раскрыть сущность закона как сохраняющегося существенного отношения.

К середине XIX века в естествознании были сделаны важнейшие открытия в области законов сохранения — установлены закон сохранения электрического заряда и закон сохранения энергии.

Количественное исследование электрических явлений начинается с опытов Кулона по определению силы взаимодействия между наэлектризованными телами. Закон сохранения «электрической силы», соответствующий, по современной терминологии, закону сохранения электрического заряда, был впервые сформулирован и экспериментально обоснован М. Фарадеем в 1843 г. Фарадей пришел к выводу, что «если тело заряжено, все равно, частица это или масса, в его действии нет ничего, что можно привести в согласие с мыслью о создании или уничтожении, величина силы вполне определена и неизменна. Единственным способом изменить эту силу может быть только присоединение к ней другой силы того же рода, того же или обратного направления.»² Дальнейшее развитие представлений о

¹ Гегель. Наука логики, ч. 1, кн. 2. Пг., 1916, стр. 94.

² М. Фарадей. Экспериментальные исследования по электричеству, т. II. Изд. АН СССР, 1951, стр. 390.

сохранении электрического заряда связано с теорией электромагнетизма Максвелла, с разработкой электронной теории и открытием электрона — носителя элементарного электрического заряда.

Современная формулировка закона сохранения электрического заряда гласит: в любой замкнутой системе суммарная алгебраическая величина электрических зарядов остается неизменной при любых процессах, происходящих в этой системе. Подчеркнем, что открытие закона сохранения электрического заряда означало установление нового, своеобразного класса законов сохранения, а именно сохранения величин зарядового типа. Законы сохранения массы, энергии, импульса и т. д. имеют дело с аддитивными величинами. Свойство аддитивности состоит в том, что величина, соответствующая целому объекту (системе), всегда равна **арифметической** сумме величин, соответствующих его частям. В отличие от этого зарядовые законы сохранения имеют дело с алгебраической суммой некоторых величин, и в этом смысле являются неаддитивными законами сохранения. Однако понятие аддитивности можно обобщить, и тогда сохранение зарядовых величин будет рассматриваться как особый вид аддитивности.

Идеи философов-материалистов XVIII в. о неразрывности материи и движения получили в XIX веке естественнонаучное обоснование в связи с открытием закона сохранения и превращения энергии. Еще в глубокой древности мыслители силой абстракции расчленили все предметы и явления объективного мира на два начала — материю как основу, субстрат всех вещей и движение (деятельное начало, активная форма, сила, энергия). Различные философские системы по-разному решали вопрос о сущности материи и движения, об их соотношении друг с другом и т. п.

Выражая стихийно-материалистические и стихийно-диалектические взгляды естествоиспытателей на соотношение материи и движения («силы», по тогдашним представлениям), Г. Гельмгольц писал: «Наука рассматривает предметы внешнего мира по двум отвлечениям: во-первых, просто по их существованию, помимо их действий на другие предметы или на наши органы чувств; как таковые она называет их материей. Следовательно, существование материи самой по себе для нас спокойное, бездейственное; мы отличаем в ней пространственное распределение и количество (масса), которое полагается вечным, неизменным... Но предметы природы не бездейственны; мы вообще приходим к познанию их только посредством их действий,

произведенных ими на наши органы чувств... Поэтому, если мы хотим понятие материи применить к действительности, то мы можем это сделать, только прибавив к нему посредством второго отвлечения то, что мы прежде хотели отвлечь, именно способность производить действия, т. е. придав ей силы. Ясно, что понятия о материи и силе в применении к природе **никогда не могут быть разделяемы.**»¹

По мере изучения различных физических и химических явлений — механических, тепловых, электромагнитных и т. д. — естествоиспытатели все ближе подходили к идее единства, взаимопревращения и сохранения различных «сил» (форм движения) в природе. О невозможности получения движения из ничего говорили многочисленные безрезультатные попытки создания «вечного двигателя». Закон сохранения «сил» (энергии) был сформулирован, теоретически и экспериментально обоснован в 1842—1847 гг. Р. Майером, Дж. Джоулем, Г. Гельмгольцем и другими учеными (Гров, Гесс, Кольдинг). Роберт Майер при обосновании закона сохранения «сил» опирается на философские представления о сохранении материи и движения, исходит из принципа причинности. Он вполне четко формулирует свою основную мысль о качественной превращаемости «сил», т. е. видов энергии, и количественной их сохраняемости: «Мы примем поэтому, что как наука, занимающаяся изучением бытия веществ (химия), так и наука, изучающая вид бытия сил (физика), должна считать количество своих объектов неизменным и только качество их изменяющимся.»² «Силы» у Майера наделяются субстанциальными свойствами, выступая в виде особых сущностей: это неразрушимые, способные к превращениям невесомые объекты.

Г. Гельмгольц, обобщая известную из механики теорему о сохранении «живых сил» и вводя понятие потенциальной энергии («напряженные силы»), формулирует закон сохранения энергии в следующем виде: «всегда сумма существующих в системе напряженных сил и живых сил постоянна.»³ Под «живой силой» здесь понимается энергия видимого движения вообще, а под «напряженными силами» — различные виды потенциальной энергии. В такой трактовке принцип сохранения энергии приобретал чрезвычайную общность,

¹ Цит. по кн.: Ф. А. Ланге. История материализма. СПб, 1899, стр. 493—494.

² Р. Майер. Закон сохранения и превращения энергии. М.—Л., 1933, стр. 62.

³ Г. Гельмгольц. О сохранении силы. М.—Л., 1934, стр. 51.

но в то же время Гельмгольц сводил все качественное многообразие видов энергии и форм движения к механической форме и подчеркивал лишь количественную сохраняемость движения.

В отличие от Гельмгольца и его последователей Ф. Энгельс отмечает не только количественную сохраняемость, но и качественную превращаемость энергии, указывая при этом на антитеологический смысл данного закона. «Если еще десять лет тому назад новооткрытый великий основной закон движения понимался лишь как закон сохранения энергии, лишь как выражение того, что движение не может быть уничтожено и создано, т. е. понимался только с количественной стороны, то это узкое, отрицательное выражение все более вытесняется положительным выражением в виде закона превращения энергии, где впервые вступает в свои права качественное содержание процесса и стирается последнее воспоминание о внемировом творце.»¹

Всесторонне анализируя содержание закона сохранения и превращения энергии, Ф. Энгельс преодолевает обычные, чисто геоцентрические рамки в понимании этого закона и раскрывает космологический его аспект. Для того времени это была исключительно смелая постановка вопроса, все значение которой можно вполне оценить только в свете достижений современной науки о космосе. Естествознание того периода носило целиком геоцентрический характер, т. е. при объяснении всех процессов в окружающем мире руководствовались законами, установленными в земных условиях. Ф. Энгельс не просто подчеркивает качественную превращаемость форм энергии (движения) друг в друга. Если принцип сохранения энергии понимать достаточно широко, то отсюда с необходимостью следует вывод о сохраняемости движения в качественном смысле. В процессе бесконечной эволюции материи различные виды энергии и формы движения не могут утратить своей потенциальной и актуальной способности ко все новым и новым превращениям. «...Любая форма движения способна и вынуждена при определенных для каждого случая условиях превращаться, прямо или косвенно, в любую другую форму движения.»²

Движение материи не только сохраняется как таковое, т. е. как атрибут материи, оно не только сохраняется количественно, но в силу универсальной взаимопревращаемости форм движения имеет также тенденцию к сохранению своих качественно

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 13.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 539 (в тексте — курсив).

своеобразных форм. Ф. Энгельс, по существу, формулирует новый, космологический закон сохранения — положение о качественной неуничтожимости (сохранении) энергии и движения. Эта сторона сохранения энергии не содержится в обычном, геоцентрическом понимании закона сохранения и превращения энергии, а потому требует особой постановки вопроса и особого обоснования.

В 50—60 годах XIX в. было сформулировано второе начало термодинамики, выражающее направленность энергетических процессов (Р. Клаузиус, В. Томсон). Второе начало равнозначно положению о невозможности создания такой машины, которая могла бы превращать всю подведенную к ней теплоту в работу. Используя понятие энтропии, второе начало термодинамики можно выразить как принцип возрастания энтропии в замкнутых системах в случае необратимых процессов. Для квазистатических, т. е. обратимых, процессов как предельного случая реальных процессов, которые всегда необратимы, имеет место закон сохранения энтропии, установленный Р. Клаузиусом¹.

Поскольку движение в мире качественно неуничтожимо, то все энергетические процессы в масштабах вселенной в принципе обратимы, а значит энтропия мира, взятого «в целом», остается постоянной. Таким образом, положение Энгельса о качественной неуничтожимости движения (энергии) эквивалентно закону сохранения энтропии для вселенной в целом.

В противоположность этому, Р. Клаузиус, В. Томсон и другие естествоиспытатели, незаконно экстраполируя второе начало термодинамики на всю вселенную, пришли к выводу, что энтропия во вселенной стремится к некоторому максимуму, по достижении которого должна наступить «тепловая смерть» мира, т. е. выравнивание температур, в результате чего прекратятся все физические процессы². Ф. Энгельс показал, что это утверждение противоречит закону сохранения и превращения энергии, а вернее, положению о качественной неуничтожимости энергии. Концепция «тепловой смерти» мира неминуемо ведет к признанию толчка извне, особого творческого акта. «В каком бы виде

¹ См. А. Г. Самойлович. Термодинамика и статистическая физика. М., 1955, стр. 51. О понятии энтропии и методологических проблемах термодинамики см.: П. Шамбадаль. Развитие и приложения понятия энтропии. М., 1967; Я. М. Гельфер. История и методология термодинамики и статистической физики, т. 1, М., 1969.

² Sk. R. Clausius. Über die zweite Hauptsatz der mechanische Wärmetheorie. Braunschweig, 1879.

ни выступало перед нами второе положение Клаузиуса и т. д., во всяком случае, согласно ему, энергия теряется, если не количественно, то качественно. . . Мировые часы сначала должны быть заведены, затем они идут, пока не придут в состояние равновесия, и только чудо может вывести их из этого состояния и снова пустить в ход. Потраченная на завод часов энергия исчезла, по крайней мере в качественном отношении, и может быть восстановлена только путем толчка извне.»¹

Поскольку энтропия есть мера неупорядоченности в расположении элементов, составляющих некоторую систему, то возрастание энтропии есть переход системы из упорядоченного состояния в беспорядочное, а обратный перевод системы в начальное состояние был бы процессом ее упорядочения. Нетрудно увидеть, что «первотолчок», который подразумевается в концепции «тепловой смерти» вселенной, есть термодинамический вариант мифологических представлений о богах-демиургах, упорядочивающих первичный хаос.

С критикой гипотезы о «тепловой смерти» мира выступили видные естествоиспытатели и философы — Л. Больцман, М. Смолуховский, В. Нернст, С. Аррениус, Н. Г. Чернышевский, Н. А. Умов, А. Г. Столетов и др. К. Э. Циолковский развивал идеи о круговороте энергии во вселенной, созвучные мыслям Ф. Энгельса. «Мы проповедуем обратимость, — писал он. — Тепло преобразуется в очевидное движение, и всякая энергия может переходить во все остальные виды энергии. И это может совершаться, да и совершается в космосе бесчисленное множество раз.»² Современное естествознание дает все новые и новые аргументы, показывающие несостоятельность концепций «тепловой смерти» мира (работы Л. Д. Ландау, В. А. Амбарцумяна, И. Р. Плоткина, К. П. Станюковича и др.).

Революция в естествознании конца XIX — начала XX вв. привела к коренной перестройке всех основных принципов физики — принципов сохранения, атомистических взглядов, представлений о пространстве и времени, причинности и т. д. Наши знания о материи и ее свойствах стали глубже, и это требовало от естествоиспытателей более основательных философских взглядов на природу, на процесс познания, подводило их к не-

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 600.

² Цит. по кн.: В. А. Брюханов. Мировоззрение К. Э. Циолковского и его научно-техническое творчество. М., 1959, стр. 158. См. работы К. Э. Циолковского: «Второе начало термодинамики». Калуга, 1914; «Кинетическая теория света». М., 1919.

обходимости подняться до уровня диалектического материализма. Однако такой переход затруднялся влиянием идеалистической философии, социальной обстановкой, в которой жили ученые, силой традиционного мышления.

В этих условиях возник «кризис физики», т. е. кризис старых методологических основ физики; некоторые естествоиспытатели, не сумев подняться до диалектического миропонимания, пришли к идеалистическим, агностическим выводам. Ученым казалось, что открытие сложного строения атомов, зависимости массы от скорости, явлений радиоактивности и т. д. подрывало принцип сохранения массы, принцип сохранения энергии, равенство действия и противодействия и другие исходные принципы естествознания¹. Поскольку материя понималась естествоиспытателями как совокупность вечных, неизменных, неделимых атомов, а движение сводилось к известным тогда формам движения, то открытия физики были истолкованы как крушение принципа сохранения материи («материя исчезла!») и движения. В действительности же физика шла к более глубокому пониманию принципов сохранения, и задача состояла в том, чтобы выяснить подлинное, диалектическое соотношение философских и естественнонаучных представлений о сохранении. Проблема сохранения может быть правильно поставлена и решена только на основе диалектического материализма.

Современная буржуазная философия не может обойти вопрос о соотношении устойчивости и изменчивости, поскольку он касается наиболее общих сторон и отношений действительности. Решение этого вопроса определяется исходными позициями, принятыми в данной философской системе, но в то же время, как правило, отражает в себе — хотя и в превратной, эксцентричной форме — те или иные особенности современного научного знания. Это последнее как раз и представляет интерес, по-своему помогая нам правильно и глубоко осмыслить проблему сохранения в современной науке. Укажем лишь на некоторые характерные тенденции в решении проблемы устойчивости и изменчивости буржуазными мыслителями.

Французский философ-интуитивист **А. Бергсон** в соответствии со своей общей концепцией времени как длительности — истинной реальности, лежащей в основе всего существующего, абсолютизирует изменчивость, не видит внутренней связи

¹ См. *В. И. Ленин. Полн. собр. соч.*, т. 18, стр. 266—267.

изменчивости и устойчивости. «Изменчивость, — утверждает он, — довлеет самой себе, она и есть сама вещь.»¹

Интеллект (теоретическое мышление), по Бергсону, не может познать эту текучую непрерывность реального; ему доступно только прерывное, неподвижное, поскольку он оперирует неизменными, застывшими понятиями. Бергсон уподобляет теоретическое мышление кинематографическому аппарату, который, передвигая кадры, создает на экране видимость движения. Интеллект якобы характеризуется естественным непониманием «творческой эволюции» жизни; только интуиция, родственная инстинкту, дает возможность проникнуть в область изменения, движения, понять «жизненный порыв».

Согласно Бергсону, не только логические законы интеллекта, но и законы материи представляют собой «перерыв» в творчестве. Именно эту чисто отрицательную тенденцию и выражают законы физического мира. Ни один из них в отдельности не имеет объективно реального существования; однако материи присущ объективный порядок, приближающийся к математическому, который познается наукой по мере ее прогресса. Законы физического мира, если их освободить от той случайной формы, какую они получают благодаря фиксации внимания на отдельных аспектах действительности, — в своей совокупности охватывают «порядок» материальных вещей, и в этом смысле их нельзя считать чисто относительными. Проблему порядка, закономерности Бергсон считает основным вопросом теории познания. «Основная проблема теории познания заключается в исследовании, каким образом возможна наука, т. е. почему в вещах существует порядок, а не беспорядок.»² Понятие «беспорядка», подобно понятию «небытия», лишено содержания и смысла.

Современная наука, говорит Бергсон, подобно науке древних, действует по кинематографическому методу, ибо всякая наука подчинена этому принципу: сущность науки состоит в изготовлении знаков, заменяющих предметы и выражающих в закрепленной форме неподвижный аспект реальности. Но имеется и существенное отличие новой науки от науки древних: «Античная наука считает, что она достаточно знает свой предмет, если она отметила его привилегированные моменты, тогда как современная наука рассматривает предмет в какой угодно момент.»³ Здесь осуществляется переход от качественного описания пред-

¹ А. Бергсон. Восприятие изменчивости. СПб, 1913, стр. 29.

² Цит. по кн.: «История философии», т. V. М., 1961, стр. 603.

³ А. Бергсон. Творческая эволюция. М.—СПБ., 1914, стр. 295.

метов и явлений к количественному изучению их отношений с помощью различных измерений. Логически это соответствует переходу из области понятий, которой ограничивалась античная наука, в область законов, т. е. к анализу постоянных отношений между переменными величинами, изменяющимися во времени¹. Законы Кеплера и Галилея, геометрия Декарта — примеры исторического перехода от одной формы науки к другой.

Внимание А. Бергсона к проблеме упорядоченности, логической структуре естественнонаучных теорий, к соотношению устойчивости и изменчивости в познании и окружающем мире — не случайно. Здесь мы видим попытку философски осмыслить характерные тенденции современного естествознания — возрастание роли принципов сохранения, инвариантности и т. п. Однако общие идеалистические позиции не дают возможности Бергсону правильно решить поставленные им проблемы. Он не понимает диалектического единства изменчивости и устойчивости, непрерывности и дискретности, сводя устойчивость к простому набору интеллектуальных знаков, который мы набрасываем на реальность, чтобы остановить иррациональный поток непосредственно данного. Бергсон совершает ту же гносеологическую ошибку, что и Платон, отрывая понятия, выражающие относительно устойчивые моменты действительности, от реальных процессов, которым присуща эта относительная устойчивость.

Большое место проблема устойчивости и изменчивости занимает в философии А. Уайтхеда, одного из представителей неореализма — современного объективно-идеалистического течения. В своей философии науки Уайтхед исходит из представления о «природе—процессе», которое возникло как реакция на старую, механическую картину мира. Он пишет, что «мы должны включить понятие изменения в тот конечный факт, за которым наука прекращает свой анализ.»² Приняв это положение, мы приходим к выводу, что природа есть процесс, и для ее изображения мыслью нужны новые понятия. (Здесь Уайтхед, по существу, повторяет высказанную задолго до него мысль Ф. Энгельса о том, что мир состоит не из законченных, готовых предметов, а представляет совокупность процессов.)

Но как возможно в этом случае научное познание мира, раскрывающее моменты общности, повторяемости, устойчивости?

¹ См. А. Бергсон. Творческая эволюция. М.—СПБ, 1914, стр. 295.

² А. N. Whitehead. An Anthology. N. Y., 1953, p. 159.

Уайтхед выделяет в природе два рода «сущностей»: **события** и **объекты**, которые обладают прямо противоположными свойствами. События конкретны, преходящи, неповторимы, непрерывны; объекты абстрактны, постоянны, дискретны. Конечными элементами мира являются «события», различающиеся своими пространственными и временными характеристиками. В отличие от изменчивых событий в мире существуют также «непреходящие факторы», которые Уайтхед называет «объектами»: это «чувственные объекты», простейшие постоянства, раскрываемые нашими органами чувств (напр., определенный цвет), «объекты восприятия» — предметы повседневного опыта, взятые с точки зрения их постоянства, и «научные объекты» — атомы, молекулы, электроны и т. п., выражающие наиболее устойчивые стороны физического мира. События в системе Уайтхеда выражают количественную определенность явлений, а объекты — качественную устойчивость вещей¹. Уайтхед в своей «философии процесса» подходит к пониманию противоречивых сторон действительности — изменчивости и устойчивости, количества и качества и т. п., он пытается связать динамические «события» и статические «объекты» («вхождение объекта в событие»), но идеалистические и метафизические установки мешают ему показать единство этих противоположных моментов в объективном мире и в познании.

Мотивы, сходные с «философией процесса» Уайтхеда, мы встречаем в философии **Николая Гартмана**. «Критическая онтология» Н. Гартмана является разновидностью объективного идеализма, близкой к течениям неореализма и критического реализма. Проблеме сохранения Н. Гартман уделяет большое внимание. Пользуясь диалектическим методом, переходя в анализе отдельных вопросов, особенно в философии природы, на материалистические позиции, Н. Гартман, вопреки своим общим идеалистическим установкам, высказывает ряд интересных соображений по проблеме сохранения.

Н. Гартман рассматривает феномен сохранения в различных аспектах². Он исходит из того, что онтологически первичным является процесс. Только потому, что «процесс» существует как первичное, существует и нечто сохраняющееся в этом процессе — субстанция. Гартман подходит к пониманию субстанции как субъекта всех изменений, как выражению единства

¹ См. А. С. Богомолов. *Идея развития в буржуазной философии XIX и XX веков*. Изд-во Моск. ун-та, 1962, стр. 288—290.

² Мы используем здесь материалы из книги: Т. Н. Горнштейн. *Философия Николая Гартмана*. Л., 1969.

устойчивости и изменчивости (развивая здесь идеи Канта и Гегеля), но при этом он отрывает «процесс» от «субстанции», считает, что субстанция свойственна только неорганической природе, что проблема «носителя» в учении о субстанции является иррациональной и т. д.

В высших слоях реального мира, согласно учению Н. Гартмана, имеет место относительная устойчивость, сохранение, но без носителя — субстрата. «Бессубстратной» формой сохранения в неорганической природе являются законы сохранения. Особые формы сохранения свойственны органической, психической и духовной жизни. В высших слоях мира имеет место не простое количественное сохранение, хотя и оно играет большую роль. Н. Гартман подробно анализирует специфические особенности различных видов сохранения в органических, психических и духовных процессах.

Анализируя формы сохранения в органической природе, Н. Гартман выделяет три момента: 1) сохранение индивида путем ассимиляции, 2) сохранение вида путем порождения новых индивидов, 3) сохранение в процессе видообразования. Сложное органическое образование сохраняется благодаря его собственной активности. По сравнению с физическими системами организм имеет более высокую способность сохранения. В различных областях духа (язык, право, мораль, искусство, литература, человеческая психика) существуют специфические формы сохранения. Свои типы устойчивости, сохранения характерны для различных областей мира.

Особой формой сохранения является динамическое равновесие, свойственное динамическим системам.

Гартман подвергает специальному анализу категорию динамической системы. Существование динамических систем он связывает с особыми формами детерминации (центральная и целостная детерминация)¹. Исследования Гартмана в этой области представляют интерес в связи с разработкой методов системно-структурного анализа.

Б. Рассел (логический позитивизм) анализирует проблему устойчивости явлений и процессов в связи с категорией структуры. Он рассматривает различные типы структур и подчеркивает, что структура есть прямое выражение устойчивости вещей и явлений. В устойчивых процессах структура остается относительно неизменной, постоянной. Рассел пишет, что «устойчивость есть очень распространенная черта естественных процес-

¹ Sk. N. Hartmann. Philosophie der Natur. Berlin, 1950.

сов», а «структура есть то, что в высокой степени склонно к устойчивости»¹. Однако в конечном счете Рассел сводит структурные отношения к логическим структурам, подставляя логические конструкции на место реальных вещей. «Высшая максима научного философствования, — пишет он, — такова: где возможно, на место выводимых сущностей должны подставляться логические конструкции»². Физические объекты должны конструироваться из «чувственных данных» средствами математической логики.

Как мы видели, проблема устойчивости и изменчивости, сохранения и изменения так или иначе решалась на всех этапах развития познания. Но только с Канта и Гегеля начинается концептуальный анализ идеи сохранения. Экспликация (выяснение точного смысла) понятия сохранения не завершена и поныне, поэтому мы попытаемся дать общее определение категории сохранения, исходя из диалектико-материалистического положения о единстве устойчивости и изменчивости. Содержательное определение понятий, говорил В. И. Ленин, «именно в этом дело философии».

2. Сохранение — инвариант изменений. Сохранение и отражение

Человек совершенствовал свое мышление, свои знания соответственно тому, как он научался изменять мир. Наука постепенно установила **всеобщность изменения** и в самом мире. И все же предмет науки — не изменение как таковое.

Наука всегда стремилась раскрыть закономерности в окружающих нас явлениях, т. е. наиболее общие, устойчивые, повторяющиеся, **сохраняющиеся** связи и отношения. Макс Планк говорил, что он «всегда считал поиски абсолютного самой возвышенной целью всей научной деятельности...»³

Выявление устойчивых, сохраняющихся сторон бытия всегда было специфической задачей научного познания: «основное стремление человека — стремление найти нечто постоянное и устойчивое. Мышление, взятое в самом широком смысле и охватывающее искусство, философию и науку в их самом широком смысле, представляет собой поиск неизменного в непрерывно изменяющемся мире...», страстное стремление обнару-

¹ Б. Рассел. Человеческое познание, его сфера и границы. М., 1957, стр. 506.

² В. Рассел. *Mysticism and Logic*. Harmondsworth, 1954, p. 150.

³ Цит. по журн. «Успехи физических наук», т. 92, вып. 4, 1967, стр. 680.

жить постоянство в окружающей действительности есть само по себе высочайшее постоянство в направленности мышления»¹.

Тенденция научного познания к установлению неизменного в непрерывно изменяющемся мире соответствует общей структуре самой реальности. Если мы и рассматриваем движение как изменение вообще (Энгельс), то это лишь одна сторона движения, одно из абстрактных определений движения. В мире негустой изменчивости, и ее невозможно представить себе даже мысленно. Всякое изменение предполагает некий «субстрат» изменения: общую основу тех или иных изменений, связь состояний в процессе изменения и т. п. Без этого не имеет смысла само понятие изменения. Короче говоря, **изменчивость** — это одна сторона всех реальных процессов, другая сторона которых есть **устойчивость**. Единство взаимно противоположных тенденций — изменчивости и устойчивости, изменения и сохранения можно рассматривать как наиболее общее выражение противоречивости бытия.

Любой объект в окружающем нас мире в границах своей меры остается в каком-то отношении тождественным самому себе и в то же время отличным от самого себя. Ф. Энгельс писал: «в том, что вещь остается той же самой и в то же время непрерывно изменяется, что она содержит в себе противоположность между «пребыванием одной и той же» и «изменением», заключается прот и в о р е ч и е»². Формула «движение есть изменение вообще» возникла исторически; она выражает лишь тот факт, что движение не сводится к механическому перемещению тел в пространстве, а охватывает все процессы, все виды изменения в окружающем мире. Любой вид изменения есть движение, но сущность движения не сводится только к изменению. Движение во всех его формах есть единство изменчивости и устойчивости. Понимая под движением сторону изменчивости, Ф. Энгельс указывал, обращаясь при этом к конкретным примерам, на единство, неразрывную связь движения и равновесия, движения и покоя, где равновесие и покой служат выражением устойчивости: «Равновесие неотделимо от движения. В движении небесных тел движение находится в равновесии и равновесие — в движении...»³; «движение должно находить свою меру в своей противоположности, в покое»⁴.

¹ С. У. Keyser. The Group Concept. «The World of Mathematics», vol. 3. N. Y., 1956, p. 1546.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 640.

³ Там же, стр. 561.

⁴ Там же, стр. 62.

Нельзя говорить, что изменчивость в окружающем мире абсолютна, а устойчивость относительна; точно также неправильным было бы и обратное утверждение. Понятия устойчивости и изменчивости, сохранения и изменения — строго коррелятивные (соотносительные), связанные по принципу единства противоположностей. Они выражают самую глубокую сущность движения, его общую структуру. Особой формой взаимосвязи устойчивости и изменчивости является и процесс развития, ибо развитие есть вид движения.

Противоречивое единство изменчивости и устойчивости существенно также для пространства и времени как атрибутов материи. В. И. Свидерский относит изменчивость и устойчивость к числу самых общих, универсальных свойств пространства и времени¹.

Всякое изменение есть определенный процесс изменения, который мы выражаем тем или иным способом. Областью изменения могут быть любые вещи, свойства, отношения, системы и т. п. Но во всех случаях изменчивость оказывается при ближайшем рассмотрении лишь одной стороной процесса; логически — это абстракция, которая предполагает наличие своей противоположности — **пребывания, устойчивости, сохранения**. Гегель в этой связи отмечал: «Пребывание есть покой в том отношении, что оно как понятие противоположно своей реализации, своему движению»². Любой процесс изменения есть, по меньшей мере, сохранение данного типа изменения, иначе о нем нечего сказать; любое качественно определенное явление остается тождественным самому себе, поскольку оно сохраняет данное качество, изменяясь в других отношениях; и т. п. Пребывание, сохранение противоположно именно своему изменению, которое является реализацией этого пребывания: тип изменения сохраняется как результат наличия изменений вполне определенного вида; сохранение качества обуславливается особенностями изменений, происходящих в данном теле.

Выражая диалектику устойчивости и изменчивости через категории тождества и различия, Ф. Энгельс подчеркивал, что устойчивость (тождество вещи самой себе) и изменчивость (различие ее состояний) являются «односторонними полюсами, которые представляют собою нечто истинное только в своем взаимодействии, во включении различия в тождество»³. Действительное, конкретное тождество содержит в себе различие, изме-

¹ В. И. Свидерский. Пространство и время. М., 1958, стр. 109.

² Гегель. Соч., т. II. Соцэкиз, 1934, стр. 65.

³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 531.

нение; этот факт, говорит Энгельс, естествознание в последнее время доказало в подробностях. Все тела и явления природы, математические построения, грамматические предложения содержат «различия в у т р и тождества»; процесс изменения есть «снятие абстрактного тождества с самим собой»¹. Ясно, что тождество с собой предполагает в то же время отличие от всего другого: данный тип изменений отличается от всех других типов, данное качество — от всех остальных качеств и т. п.

Категория сохранения родственна таким категориям, как «тождество», «абсолютное», «общее (всеобщее)». Поэтому ленинский анализ диалектики абсолютного и относительного (релятивного) помогает нам глубже понять соотношение сохранения и изменения. «Для объективной диалектики в релятивном есть абсолютное, — писал В. И. Ленин. — Для субъективизма и софистики релятивное только релятивно и исключает абсолютное»². В изменчивом всегда есть момент абсолютности, который выступает в виде устойчивости, сохранения тех или иных сторон реальных процессов. Для релятивистов-агностиков характерно отрицание всякой устойчивости, определенности в объективном мире и в познании.

Итак, устойчивость и изменчивость, сохранение и изменение находятся в диалектическом единстве, и сущность одного мы можем понять и выразить лишь через другое.

Правильное понимание одной из этих категорий непосредственно зависит от глубины подхода к другой. Это справедливо как для истории познания, так и для современного анализа. Непонимание всеобщности изменений в окружающем мире с неизбежностью вело к представлению, что сохранение есть некая «неизменность» вещей, «вечность» законов природы и т. п. Признание вечных, неизменных атомов привело в конце прошлого века к выводам об «исчезновении материи», о «крушении» принципов сохранения в физике, т. е. к своеобразной «теории катастроф» вместо понимания действительных изменений, происшедших в области физических идей.

Поскольку во всех реальных процессах изменения всегда наличествует нечто сохраняющееся (в виде вещей, свойств, отношений), то **сохранение можно представить как инвариант изменений**. В свою очередь, понятие изменения можно операционально определить как процесс перехода, преобразования данного объекта, явления, системы из одного состояния в другое

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 529, 530.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 317.

под действием каких-то внешних факторов или внутренних импульсов; при этом предполагаются неизменными некоторые черты исходного состояния, тип преобразования и т. п.¹

Термин «инвариант» заимствован из математики, где он обозначает величину или выражение, остающиеся неизменными при каких-то преобразованиях. В связи с математизацией науки понятие инвариантности становится общенаучным понятием; оно широко применяется в физике, кибернетике, технических науках, логике, лингвистике и т. д. В нашей формулировке («сохранение есть инвариант изменений») этот термин имеет самый широкий смысл. Представление об инвариантности служит здесь конкретным выражением диалектической связи сохранения и изменения. Если категории изменения и сохранения как таковые фиксируют лишь полярные противоположности, противостоящие друг другу, то понятие инвариантности есть выражение диалектического синтеза этих категорий, их взаимопроникновения, перехода друг в друга. Инвариант, с одной стороны, есть нечто сохраняющееся, устойчивое, а с другой, это инвариант каких-то вполне определенных изменений, преобразований, происходящих в данной системе, множестве. Он выражает не только единство сохранения и изменения, но и сам процесс перехода одного в другое, сущность взаимосвязи сохранения и изменения.

Определяя сохранение как инвариант изменений, мы по существу воспроизводим исходную гегелевскую триаду: бытие—ничто—становление («Наука логики», кн. 1, отд. 1, гл. 1). Чистое изменение, так же как чистое сохранение, есть чистая абстракция, ничто. Изменение как таковое не несет в себе никакой определенности, никакой информации; точно также о предмете, который остается абсолютно неизменным, нечего сказать. Только взаимопроникновение этих противоположностей в реальных процессах отражает действительную картину мира. «Становлению» здесь соответствует инвариантность. Истина состоит в том, что сохранение и изменение (если перенести сюда гегелевскую характеристику единства бытия и ничто) «не одно и то же, что они абсолютно различны, но равным образом не разделены и нераздельны, и что каждое непосредственно исчезает в своей противоположности. Их истина есть, стало быть, это движение непосредственного исчезания одного в другом — становление; движение, коим они оба различа-

¹ Категория изменения в логико-методологическом плане рассматривается в работе: *В. И. Столяров*. Процесс изменения и его познание. М., 1966.

ются, но таким различием, которое столь же непосредственно уничтожается»¹. Гегель подчеркивает, что диалектика бытия и ничто раскрывается на любом примере: «Было бы нетрудно обнаружить это единство бытия и ничто на каждом примере, на каждом случае действительности или мысли»².

Понимание сохранения как инварианта некоторых изменений выражает тот факт, что «мир состоит не из готовых, законченных вещей» и не является потоком чистых изменений, а «представляет собой совокупность процессов» (Энгельс), т. е. постоянное становление. Это становление выступает в виде переходов, преобразований и т. п., несущих в себе какую-то инвариантную основу.

Рассматривая в общем плане соотношение категорий устойчивости и изменчивости, мы наряду с термином «устойчивость» употребляли как эквивалентный ему термин «сохранение». Теперь, когда мы должны начать детальный анализ проблемы сохранения, необходимо сделать терминологический выбор. Понятие сохранения находится на том же уровне абстракции, что и понятие устойчивости, поскольку их коррелируют (соотносительное понятие) один и тот же — категория изменчивости. Но термин «сохранение» обладает рядом преимуществ. Прежде всего, в терминах сохранения исторически сформулированы законы, выражающие устойчивость важнейших характеристик физических систем, — законы сохранения. Основные философские понятия и положения, связанные с предметом исследования, хорошо выражаются на языке сохранения: проблема сохранения, принцип сохранения, сохранение как инвариант изменений и т. п.

Определение сохранения как инварианта изменений — дефиниция весьма своеобразная. Категория сохранения относится к числу предельных абстракций, поэтому мы можем лишь разъяснить ее смысл, подбирая эквивалентные ей понятия. Термины «сохранение» и «инвариантность (инвариант изменений)» — это различные нотации (обозначения, наименования) одного и того же феномена, но понятие инвариантности в явном виде выражает внутреннюю связь сохранения и изменения и тем самым сущность сохранения.

Поскольку понятия «сохранение» и «инвариантность» по своему содержанию и объему эквивалентны, отсюда следует, что (а) все виды сохранения можно выразить в терминах инвариантности и (б) все специальные виды инвариантности, извест-

¹ Гегель. Наука логики, ч. 1, кн. 1. Пг., 1916, стр. 29—30.

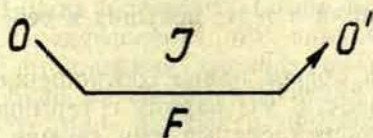
² Там же, стр. 31.

ные в естествознании (релятивистская инвариантность, СРТ — инвариантность и т. п.), являются формами сохранения.

Сущность сохранения как инвариантной основы некоторой совокупности изменений, сформулированная выше чисто концептуально, может быть весьма просто выражена символически.

Используя существующую математическую символику¹, понятия преобразования (отображения), оператора, инварианта и т. п., наш замысел схематически изобразим так²:

(1)



Здесь O — операнд (начальное состояние, оригинал, прообраз и т. п.);

O' — образ (конечное состояние, результат преобразования, изображение и т. д.);

F — оператор (функция, функтор и т. п. — вообще закон преобразования);

J — инвариант преобразования;

\rightarrow — знак преобразования.

Термины «отображение» и «преобразование» считаются здесь эквивалентными, хотя в математике обычно преобразование рассматривается как частный случай отображения. Данная схема предполагает, что все изменения в принципе можно выразить на языке преобразований, отображений, — это соответствует атрибутивности свойства отражения. Под **оператором** понимается действующий фактор, причина изменений в данной области, вообще — некоторый закон преобразования, закон соответствия O и O' . **Инвариант преобразования** — это те вещи, свойства и отношения, которые остаются неизменными в процессе преобразования, или иначе — те особенности оригинала, которые воспроизводятся в особенностях образа. Подчеркнем, что термин «воспроизведение» имеет здесь самый широкий смысл: равенство числа атомов в правой части химического уравнения (про-

¹ См. Л. Феликс. Элементарная математика в современном изложении. М., 1967.

² Мы опираемся здесь на некоторые идеи Эшби и его терминологию. См. У. Росс Эшби. Введение в кибернетику. М., 1959, гл. 2.

дукт реакции) числу атомов в левой части (исходные вещества), передача генетической информации, ощущение как субъективный образ объективного мира — все это виды воспроизведения.

В общую схему инвариантности (сохранения), которая является также схемой отображения, «укладываются» математические и логические преобразования, психическая форма отражения, теория отражения как теория познания, различные физические, химические, биологические, кибернетические и др. процессы.

Смысл приведенной выше схемы инвариантности будет раскрыт далее на многих конкретных моделях. Здесь в качестве примера возьмем лишь геометрические инварианты. Феликс Клейн в своей знаменитой Эрлангенской программе (1872) показал, что геометрия в широком смысле — это наука, изучающая свойства фигур, инвариантные относительно некоторой группы преобразований¹. Каждому типу преобразований соответствует своя особая «геометрия»: аффинная геометрия, проективная геометрия, дифференциальная геометрия и т. п. Различные типы «геометрий» отличаются друг от друга тем, какие классы эквивалентных фигур они рассматривают, или иначе: какие фигуры считаются равными (эквивалентными) в данной геометрической системе. Соответствующие преобразования (отображения) переводят одну фигуру данного класса в другую фигуру того же самого класса. Например, проективная геометрия считает фигуры эквивалентными, если соответствующие преобразования переводят точки, лежащие на одной прямой, в точки, лежащие на другой прямой.

Общая структура движения как единства сохранения и изменения оказывается аналогичной общей структуре отображения, понимаемого в качестве атрибута материи. Идея о всеобщности (атрибутивности) отражения, или отображения, была выдвинута В. И. Лениным в начале текущего столетия в книге «Материализм и эмпириокритицизм». Весь последующий ход развития науки показал, что представления о всеобщности отражения имеют глубокие основания. Понятие отражения приобретает в современной науке категориальный характер. Проблема всеобщности отражения сейчас активно разрабатывается в марксистской философской литературе. В самое последнее время вышли в свет три работы, которые можно рас-

¹ См. Ф. Клейн. Сравнительное обозрение новейших геометрических исследований. В сб. «Об основаниях геометрии». М., 1956.

считать как определенный итог в изучении свойства отражения: это коллективная монография «Значение ленинской идеи о всеобщности отражения для естествознания» (отв. ред. А. В. Шугайлин, изд. Киевского ун-та, 1968), монография Б. С. Украинцева «Отображение в неживой природе» (М., 1969) и работа Ф. И. Георгиева, А. М. Коршунова, О. А. Ладоренко, Н. В. Тимофеевой, И. В. Тройнова «Проблемы отражения» (изд. Моск. ун-та, 1969).

В результате критического анализа различных точек зрения по вопросу о сущности отражения Б. С. Украинцев приходит к выводу, что «отображение есть особая сторона и особый продукт взаимодействия объектов (или объекта и субъекта), представляющий собой более или менее адекватное воспроизведение некоторых особенностей процесса отображаемого внешнего объекта в особенностях изменения процесса отображающего объекта (или субъекта), воспроизведение, являющееся по содержанию вторичным, зависимым по отношению к отображаемому объекту и совершающееся в форме изменения процесса отображающего объекта (субъекта)»¹.

Итак, для отображения характерны два основных момента: 1) адекватность отображения, которая понимается в смысле соответствия образа своему прообразу, и 2) вторичность образа по отношению к оригиналу. В существующей литературе отмечаются также и другие характерные черты отображения.

Принимая в качестве исходного тот факт, что отображение есть особая сторона и особый результат взаимодействия материальных объектов (или объекта и субъекта), мы можем операционально определить категорию отображения как некоторый закон соответствия двух (в простейшем случае) **элементов, множеств, систем, структур** и т. п. Отображение определяется здесь в терминах отношений, т. е. в самом общем виде.

Такой подход позволяет охватить все модификации отражения в реальном мире. Как пишет действительный член АПН СССР А. Н. Леонтьев, в понятии отражения «заключена идея развития, идея существования различных уровней и форм отражения. Речь идет о разных уровнях тех специфических изменений рассматриваемых объектов, которые возникли в результате испытываемых ими воздействий и являются адекватными им. Эти уровни очень различны. Но все же это уровни единого отношения, которое в качественно разных формах обнаружи-

¹ Б. С. Украинцев. Отображение в неживой природе. М., 1969, стр. 86.

вает себя и в неживой природе, и в мире животных, и, наконец, у человека»¹.

А. Н. Леонтьев рассматривает отражение как результат взаимодействий, подчеркивает адекватность отражения, говорит о различных уровнях и формах отражения и, наконец, отмечает всеобщность отражения, понимая отражение как определенное отношение. Заметим, что язык отношений становится универсальным языком науки.

Определяя отображение на языке отношений, мы не отрываемся от реальных взаимодействий. Конечно, не любое отношение есть взаимодействие, но все отношения, существующие в мире, складываются на основе того универсального взаимодействия, которое мы и называем «миром». Когда мы определяем движение как изменение вообще, мы точно также подразумеваем, что все изменения происходят на основе материальных взаимодействий, хотя конкретный механизм этих взаимодействий может оставаться для нас неясным или быть несущественным. Нельзя сводить отображение к конкретным механизмам отображения; в общем случае достаточно установить определенное соответствие двух состояний — исходного и конечного, где конечное состояние является результатом некоторых материальных взаимодействий.

Понимание отображения как некоторого закона соответствия объектов близко к математическому определению отображения. Но в последнем случае речь идет только о математических объектах. Впрочем, сами математики относят понятия множества, отображения и т. п. к доматематическим понятиям², т. е. к общенаучным категориям.

Отображение — это процесс, имеющий определенную структуру. В структуре отображения мы выделяем: а) прообраз, б) образ и в) закон преобразования, закон соответствия образа своему прообразу. В ходе отображения обязательно что-то **изменяется** (не все особенности оригинала воспроизводятся в особенностях образа), иначе образ был бы не отличим от прообраза, и что-то **сохраняется**, в противном случае не выполнялось бы условие адекватности отображения. Это значит, что для процесса отображения характерно единство изменения и сохранения. Иначе и не могло быть, ибо отображение является одной из существенных сторон дви-

¹ А. Н. Леонтьев. Понятие отражения и его значение для психологии. «Вопр. филос.», 1966, № 12, стр. 49.

² См. Г. Вейль. Полвека математики. М., 1969, стр. 20—21.

жения, а для любой формы движения характерно единство изменения и сохранения. Поскольку любой конкретный процесс как фрагмент универсального движения является конечным в пространстве и времени, то для его описания всегда можно выделить (хотя бы в принципе) исходное состояние, конечное состояние и некоторый закон преобразования первого во второе.

Как видим, общая структура движения и общая структура отображения соответствуют друг другу. Сказанное выше, как нам представляется, служит достаточным основанием для того, чтобы общую структуру движения выразить в терминах отображения, а общую структуру отображения — в терминах инвариантности.

Формы отображения в окружающем нас мире неисчерпаемо многообразны. Среди этого многообразия необходимо особо выделить отображения (преобразования) объектов на себя. Как увидим далее, на основе этих представлений строго определяются понятия инвариантности, симметрии и относительности, играющие важную роль в системе концептуальных средств современного научного анализа.

Отметим, что идея инвариантности (сохранение как инвариант изменений) может быть вполне адекватно представлена символически в виде матрицы отображений. Взаимное отображение трех объектов А, В и С друг на друга и на себя имеет вид:

$$\begin{array}{ccc} \text{ARA} & \text{ARB} & \text{ARC} \\ \text{BRA} & \text{BRB} & \text{BRC} \\ \text{CRA} & \text{CRB} & \text{CRC} \end{array} \quad (2)$$

Здесь R — некоторое отношение (элементарное отображение). Вывод матрицы отображений дает в своих работах А. В. Шугайлин, опираясь на идеи, высказанные еще К. Марксом¹.

Характерные черты отображения — адекватность отображения и вторичность образа по отношению к оригиналу — можно представить средствами символической логики (см. гл. 1, § 4).

Выражая сущность сохранения в самом общем, абстрактном виде — как инвариант некоторых изменений — мы тем самым определяем начало исследования данной проблемы и исходный принцип, который лежит в основе ее рассмотрения. Если проблема начала решена правильно, то, как пишет Гегель, в этом случае «субъективная деятельность выступает, как существенный момент объективной истины, и возникает потреб-

¹ См. «Значение ленинской идеи о всеобщности отражения для естествознания». Изд-во Киевского ун-та, 1968, стр. 92.

ность соединить метод с содержанием, форму с принципом. Вследствие того принцип становится вместе началом, и то, что есть первое для мышления, — первым и в ходе мышления»¹.

В процессе исследования той или иной проблемы осуществляется постоянное возвращение к исходному началу, в результате чего уже в явном виде принципы оказываются не исходным пунктом, а конечным результатом исследования.

На это последнее обстоятельство обращал внимание Ф. Энгельс, подвергая критике за априоризм «системосозидающего» г. Дюринга. В ходе исследования проблемы сохранения на конкретных моделях мы убедимся, что наш общий принцип является правильным, т. е. он сформулирован как обобщение эмпирических и теоретических данных, которыми располагают конкретные науки.

Но то, что является логически первым при разработке теории вопроса (при условии, что это первое действительно удалось определить), должно быть и исторически первым, если смотреть на всю проблему ретроспективно². Таким путем можно верифицировать, подвергнуть проверке избранное нами «начало», сопоставить его с фактической историей развития идеи сохранения. В действительности, конечно, все происходит наоборот: историческое начало «отображается» в начале логическом, в исходных принципах построения данной теории. Субстанцистичии древних натурфилософов были тем историческим началом, от которого можно вполне однозначно проследить возникновение и развитие идеи сохранения, понимание сохранения как некоторой инвариантной основы вещей и процессов. Современные представления о сохранении в этом плане вполне соизмеримы с наивными догадками первых философов.

3. Структурный аспект сохранения, упорядоченность и симметрия

Познание мира начинается с эмпирического, качественного различения предметов и явлений друг от друга. «Самым первым и самым первоначальным является ощущение, а в нем неизбежно и качество...»³

¹ Гегель. Наука логики, ч. 1, кн. 1, стр. 19.

² «То, что есть первое в науке, должно было оказаться и исторически первым» (Гегель. Наука логики, ч. 1, кн. 1, стр. 34).

³ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 301.

На логической ступени познания мы также имеем дело прежде всего с качествами, ибо в определениях вещей и явлений фиксируются их качества¹. Качественная определенность вещей и процессов (материальных систем) обуславливается — в границах их меры — устойчивостью их структуры.

В любой материальной системе идут процессы изменения, превращения, миграции и т. п. Но при всем этом система остается в главных чертах тождественной самой себе — относительно устойчивым образованием, противостоящим внешним воздействиям. Это означает, что в любой системе есть нечто инвариантное, сохраняющееся при всех (допустимых) изменениях, происходящих внутри системы и вне ее. Инвариантной основой системы является ее структура. Н. Ф. Овчинников рассматривает структуру как инвариантный аспект системы².

В самом общем случае различаются пять инвариантных аспектов системы и, соответственно, пять аспектов структуры: а) число элементов (ингредиентов), входящих в состав структуры, системы; б) природа этих элементов; в) способ (порядок) связи элементов системы; г) направленность этих связей в пространстве; д) сама система (структура) как целостное качественно специфическое образование с присущими ей функциями, как элемент более общих систем и структур (метасистем, метаструктур). Как видим, понятие структуры охватывает и качественные и количественные характеристики систем.

Символически эти пять инвариантных аспектов системы можно выразить так:

$$\boxed{X \rightarrow Y} \text{ — } S \quad (3)$$

где X и Y — элементы; \rightarrow — символ, обозначающий связь между элементами; S — система.

Здесь система содержит два элемента (а); этими элементами являются X и Y (б); связь между элементами идет от X к Y (в); эта связь направлена слева направо (г); система S обладает целостностью: графически эта идея выражена прямоугольником, охватывающим X и Y (е).

Структура (система) сохраняет свою качественную определенность (е), если параметры (а), (б), (в), (г) этой системы остаются неизменными:

¹ См. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 301.

² См. Н. Ф. Овчинников. Принципы сохранения. М., 1966, стр. 267.

$$\text{если } \left\{ \begin{array}{l} a = \text{const} \\ b = \text{const} \\ c = \text{const} \\ d = \text{const} \end{array} \right\} \text{ то } e = \text{const} \quad (4)$$

Система теряет свое качество, если параметры (a), (b), (c), (d) — все или некоторые из них — претерпевают изменение, выходя за пределы меры:

$$\text{если } \left\{ \begin{array}{l} \text{и (или)} \\ \text{и (или)} \\ \text{и (или)} \end{array} \begin{array}{l} a \neq \text{const} \\ b \neq \text{const} \\ c \neq \text{const} \\ d \neq \text{const} \end{array} \right\} \text{ то } e \neq \text{const} \quad (4a)$$

Каждый случай легко проиллюстрировать на конкретных моделях. Возьмем только область химии. (a) Молекула кислорода — O_2 ; если добавить еще один атом кислорода, то получим озон — O_3 , газ, качественно отличный от кислорода. (b) Молекула обычной воды — H_2O ; если вместо водорода будет его изотоп — дейтерий, то перед нами «тяжелая вода». (c) Химическая изомерия в смысле Бутлерова: зависимость природы изомерных веществ от порядка взаимодействия атомов в молекуле. (d) Стереонизомерия: зависимость свойств веществ от пространственного расположения атомов в молекуле («правые» и «левые» молекулы). (Химическая изомерия подробнее рассматривается в гл. II, § 3).

Каждому из пяти инвариантных аспектов систем (и их комбинациям) соответствуют свои специфические проявления сохранения, которые мы находим на различных структурных уровнях организации материи.

В конечных множествах (системах) число элементов не зависит от порядка их счета, порядка расположения и т. п. В таких множествах количественные числа всегда равны соответствующим порядковым числам.

Если мы последовательно в любом порядке пересчитываем какие-то предметы и последним порядковым номером оказался, например, десятый, то мы автоматически делаем вывод, что перед нами десять вещей. Этот эмпирический факт можно в общем виде выразить так: число элементов инвариантно относительно способов их упорядочения. В любой

конечной совокупности элементов независимо от того, в каком порядке элементы расположены, всегда есть нечто неизменное, инвариантное, а именно некоторая количественная определенность, выражаемая числом элементов. При этом сами элементы считаются данными, рассматривается лишь соотношение их числа и порядка (природа элементов произвольна, направление их связей не определено. В тех случаях, когда различаются направления связей в пространстве, число элементов не зависит от модификаций направления).

Этот эмпирический закон, «быть может самый важный из когда-либо установленных законов науки»¹, выражает количественную определенность вещей и явлений и лежит в основе всех количественных законов сохранения, известных в естествознании. Законы сохранения, несмотря на их специфику, формулируются вполне единообразно: при всех изменениях, происходящих в той или иной системе при условии ее замкнутости, остается неизменной по своему численному значению некоторая величина, характерная для данного класса явлений. Эти изменения соответствуют различным комбинациям элементов, на которые можно разделить данную систему.

Различные комбинации числа элементов, их состава и порядка расположения в конечных множествах в общем виде изучает особая область математики — **комбинаторика**². К этому вопросу (применение комбинаторных методов при изучении свойств сохранения) мы вернемся позднее, при рассмотрении проблемы сохранения в биологии.

Сейчас лишь отметим, что при неизменном элементарном составе возможны различные варианты упорядочения элементов данной системы. Единство сохранения и изменения подобного рода имеет место, например, в явлениях химической изомерии в смысле Бутлерова. При неизменности порядка связи элементов возможна различная ориентация (направленность) этих связей в пространстве — правая или левая. Единство сохранения и изменения подобного типа известно как право-левая симметрия, широко распространенная в природе.

Наконец, на уровне целостности систем возможна такая ситуация:

¹ Г. Н. Льюис. *Анатомия науки*. М.—Л., 1929, стр. 18.

² С основными идеями комбинаторики можно ознакомиться, напр., по кн.: С. И. Новоселов. *Специальный курс элементарной алгебры*. М., 1958.

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{и (или)} \quad a \neq \text{const} \\
 \text{и (или)} \quad b \neq \text{const} \\
 \text{и (или)} \quad c \neq \text{const} \\
 \text{и (или)} \quad d \neq \text{const}
 \end{array} \right\} \text{но } e = \text{const} \quad (46)$$

Это означает, что в пределах своей меры данная система сохраняет свое качество несмотря на изменение параметров (a), (b), (c), (d). Так, (a) живой организм может утратить ряд органов, но при условии сохранения жизненно важных функций будет оставаться самим собой. (b) Один из нуклонов в ядре (нейтрон) может быть замещен гипероном (гиперъядра), но ядро при этом не теряет своего основного качества. (c) Металл как химически определенная система остается металлом (напр., железо) независимо от того, в каком агрегатном состоянии он находится — твердом (для него характерен дальний порядок в расположении атомов), жидком (ближний порядок) или газообразном (беспорядок). (d) Законы природы инвариантны относительно замены правой системы координат на левую; этому соответствует закон сохранения P-четности (см. гл. II, § 2).

Среди инвариантных аспектов системы, на которые указано выше, особый интерес в связи с проблемой сохранения представляет порядок связи элементов системы. При изучении этого вопроса выясняется, что представления о порядке широко используются в самых различных областях знания. Понятие упорядоченности приобретает категориальный характер¹.

В философской литературе понятие порядка используется достаточно широко в связи с анализом тех или иных проблем, однако до сих пор оно не стало предметом специального рассмотрения. Категория порядка не отделяется еще от родственных ей категорий — структуры, организации и т. п. Так, Клаус Гёсслер (ГДР) в связи с анализом сущности жизни пишет: «Порядок и структура суть материальные факты. Они внутренне присущи самой материи и имеют место отнюдь не только в живой природе...., но во всех формах движения материи. До сих пор не было открыто ни одного абсолютно неорганизованного, хаотичного материального явления. . . В то же время способ организации, структура, порядок, закономерность в отдельных формах движения материи качественно различны. Но так

¹ См. В. А. Марков. Упорядоченность как категория познания. «Известия Академии наук Латвийской ССР», 1968, № 8.

или иначе они существуют по всюду. Хаотическая материя, лишенная всякой закономерности, была бы недоступна для познания»¹. Категории порядка придается здесь самый широкий смысл, но она не отделяется еще от смежных понятий.

Проблема упорядоченности требует специального исследования; здесь мы ее рассмотрим лишь в той связи, которая так или иначе необходима для анализа проблемы сохранения.

Представления о порядке интуитивно возникли еще на уровне первобытного мышления. В ходе эволюции научных знаний понятие упорядоченности использовалось как в естественных науках, так и в философии. Однако принципиальная важность представлений о порядке для естествознания была понята лишь в XIX столетии в связи с созданием теории множеств, теории химического строения и т. д. Выяснилось, что понятие порядка лежит в основаниях математики. «Без рассмотрения порядка, — писал Б. Рассел, — невозможно никакое понимание основ математики»². Отношение порядка, аксиомы порядка, порядковые числа, вектор как упорядоченная пара точек и т. п. — все эти понятия даже чисто терминологически отражают в себе идею порядка. В математике представление о порядке вводится аксиоматически.

Прежде всего отметим, что «порядок», «упорядоченность» — это область отношений. Окружающий нас мир состоит из реальностей трех родов — вещей, свойств и отношений³. Понятие порядка принадлежит миру отношений. В математике и логике выделяется два типа бинарных отношений:

1) отношения эквивалентности (в частном случае — тождества): $a = b$;

2) Отношения порядка: $a < b$.

Отношения эквивалентности удовлетворяют условиям рефлексивности, транзитивности и симметричности. Отношения (строгого) порядка обладают свойствами антирефлексивности, транзитивности и антисимметричности⁴.

Выражение $a < b$ означает, что a предшествует b , а меньше b , а содержится в b . Таким образом, отношения порядка, или просто порядок, выражает определенную последовательность

¹ К. Гёсслер. О сущности жизни. М., 1967, стр. 256.

² Цит. по кн.: Г. Кокстер. Введение в геометрию. М., 1966, стр. 256.

³ См. А. И. Уемов. Вещи, свойства и отношения. М., 1963.

⁴ См. А. Г. Курош. Лекции по общей алгебре. М., 1962, стр. 16, 19. Под отношением понимают функцию высказываний двух переменных $\varphi(x, y)$; ее можно записать в виде xRy , где x и y — переменные, R — некоторое отношение. (К. Куратовский. Топология, т. 1, М., 1966, стр. 18).

элементов, охватывает отношение «больше—меньше», отношение включения и т. п. Вообще говоря, отношение эквивалентности $a=b$ можно рассматривать как тривиальный случай частичной упорядоченности $a \leq b$, т. е. отношения нестрогого (широкого) порядка¹.

Как видим, если оперировать понятием нестрогого порядка, область отношений порядка оказывается чрезвычайно широкой. Действительно, понятие порядка будет охватывать в этом случае все многообразные формы эквивалентности, моменты тождества в окружающем нас мире и такие массовидные, присущие всем объектам отношения, как отношения последовательности, включения и т. п.²

Конечно, не все отношения являются отношениями порядка, но все материальные объекты, системы, события характеризуются определенной последовательностью, могут быть сравнимы с однотипными объектами по принципу «больше—меньше» и т. д.

Категория упорядоченности тесно связана, с одной стороны, с понятием различия, а с другой, с понятием организации. Понятие различия определить очень трудно, поэтому мы будем считать его интуитивно данным. Категорию упорядоченности можно рассматривать как конкретизацию категории различия, которая (упорядоченность) несколько сужает объем понятия «различие», но в то же время служит средством экспликации этого понятия. В любом различии есть момент упорядоченности (в тривиальном случае — момент тождества, эквивалентности).

Понятия «упорядоченность» и «организация» в существующей литературе очень часто отождествляются. Однако эти понятия целесообразно различать. «Организация» — это характеристика структурно-функциональной целостности объекта, характеристика взаимосвязи и взаимодействия элементов данной системы. В отличие от этого понятие упорядоченности охватывает более «слабые» виды отношений; оно не отражает отношений взаимодействия, фиксируя лишь отношения типа предшествования—следования, больше—меньше и т. п. В то же время упорядоченность остается одной из важнейших характеристик органи-

¹ См. А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. Элементы теории функций и функционального анализа. М., 1968, стр. 29.

² Мы будем различать понятия упорядоченности и пространственной направленности (ориентации), хотя в физической литературе при описании конкретных явлений направленность неявно рассматривается как вид упорядоченности. Так, направленное движение частиц (молекул, атомов и т. д.) противопоставляется их беспорядочному, хаотическому движению.

зации систем; именно это обстоятельство и служит поводом для смешения данных категорий.

Близость понятий упорядоченности и организации в концептуальном плане проявляется в том, что оба понятия тесно связаны с категорией сохранения. Понятия организации и степени (высоты) организации непосредственно определяются через категорию сохранения. «Организацией... является такая совокупность явлений, в которой свойства последних проявляются как функции сохранения и развития этой совокупности»; «организованность системы тем выше, чем выше устойчивость структуры ее элементов и лабильность их функций, направленных на сохранение специфических свойств и функций системы как целого»¹.

Чрезвычайная общность понятия упорядоченности проявляется в том, что такие фундаментальные категории философии, как пространство, время, причинность, закон и т. п. мы определяем через категорию порядка или сближаем с ней.

Представление о пространстве как порядке расположения тел и времени как порядке следования сменяющих друг друга явлений четко было сформулировано Лейбницем², и оно удержалось до сих пор. «Философская энциклопедия» определяет пространство и время как «формы координации материальных объектов и явлений»³, а координация и субординация есть виды упорядоченности. Причинность также может быть истолкована на основе представлений об упорядоченности. «Причинность есть определенная форма упорядочения событий в пространстве и времени, и эта упорядоченность накладывает свои ограничения даже на самые хаотические события»⁴.

Категория закона, закономерности тесно связана с понятием упорядоченности. Закон есть отношение между сущностями, существенное отношение; закон — это идентичное, повторяющееся в явлении, он выражает моменты тождества в данном явлении. В. И. Ленин отмечал, что Гегель сближает понятие закона с по-

¹ М. И. Сетров. Методологические принципы построения единой организационной теории. «Вопр. филос.», 1969, № 5, стр. 30, 32 (в тексте — разрядка).

² См. Г. В. Лейбниц. Новые опыты о человеческом разуме. М.—Л., 1936, стр. 133.

³ «Философская энциклопедия», т. 4. М., 1967, стр. 392. Протяженность как одно из свойств пространства и длительность как одно из свойств времени есть не что иное, как устойчивость, сохранение данного типа, порядка связей — порядка расположения сосуществующих тел и порядка смены состояний.

⁴ Д. И. Блохинцев. Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1966, стр. 45.

нятиями: порядок, однородность, необходимость и т. п.; он подчеркивал, что «это сближение очень важно»¹. Различие между «порядком» и «законом» в том, что категория порядка характеризует любые отношения с определенной точки зрения, тогда как закон выражает лишь существенные отношения. Современные естествоиспытатели приходят к таким же выводам, квалифицируя законы природы как упорядоченность явлений и процессов. Известный физик-теоретик Е. Вигнер пишет: «Законами природы называют те регулярности в явлениях природы, которые пытается раскрыть физика. Это название действительно весьма удачно»². Понятие же регулярности не может выражать ничего иного, кроме упорядоченности.

Сказанное выше позволяет сделать вывод, что упорядоченность является атрибутом материи. Все формы статистического беспорядка (напр., хаотическое движение молекул газа) выступают как момент в общей картине упорядоченного мира. Любой статистический ансамбль подчиняется своим специфическим закономерностям (распределение скоростей молекул по Максвеллу, типы статистик и т. п.). Беспорядка в смысле отсутствия каких-либо закономерностей, регулярностей вообще не существует. Полный хаос равносителен чистому изменению, чистому ничто, и его невозможно даже себе представить. Как пишет Ст. Бир, «нет ничего более неестественного, чем хаос»³.

Проявления упорядоченности в окружающем мире неисчерпаемо многообразны. Они специфичны на каждом уровне организации материи; одни из них более фундаментальны (пространство, время, причинность), другие менее (конкретные виды упорядоченности в тех или иных областях действительности). Это приводит к тому, что образуются различные уровни упорядоченности, иерархия (субординация) типов упорядоченности, их координация и т. п.⁴ В общем же, как говорил А. Эйнштейн,

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 167.

² Е. Вигнер. События, законы природы и принципы инвариантности. «Успехи физических наук», т. 85, вып. 4, 1965, стр. 728.

³ Ст. Бир. Кибернетика и управление производством. М., 1965, стр. 285.

⁴ Примером субординации типов упорядоченности может служить субординация различных «геометрий» в смысле Клейна, о которых говорилось выше. Для каждой геометрии определены свои преобразования, оставляющие неизменными (инвариантными) определенный тип упорядоченности, характерный для фигур данного класса. При этом различные типы упорядоченности сами оказываются упорядоченными по принципу субординации. Напр., топологические свойства фигур являются также свойствами в смысле евклидовой геометрии, проективной геометрии и дифференциальной геометрии. (См. П. Стинрод, У. Чинн. Первые понятия топологии. М., 1967, стр. 90—92). Иерархии типов упорядоченности соответствует иерархия инвариантов.

«реальность имеет полностью гармоническую структуру»¹. Но гармония есть просто иное название высших форм упорядоченности.

Итак, одним из аспектов всех структурных образований является способ (порядок, закон) связи элементов, входящих в состав данной структуры. Этот аспект структуры можно назвать структурой отношений. В общем виде структура включает в себя и вещи — элементы, обладающие определенными свойствами, и отношения между этими элементами. Отношения между элементами в рамках структуры могут быть двух видов: а) неупорядоченными и б) упорядоченными. Примером неупорядоченных структур являются аморфные вещества, обычные газы, электронный газ и т. п. Однако во всех неупорядоченных структурах, как уже отмечалось, обнаруживаются элементы упорядоченности. Так, для аморфных веществ характерна однородность и изотропность макроскопических свойств. (Однородность и изотропность выражаются отношением эквивалентности, а последнее мы рассматриваем как вид упорядоченности.) Беспорядок в одном отношении оказывается скрытым или явным порядком в другом отношении. В этом смысле мы можем рассматривать «беспорядок» как вид упорядоченности, понимаемой в широком смысле.

В философской литературе под порядком часто понимают способ, закон связи элементов в рамках целостной системы, структуры. Здесь в неявном виде под порядком подразумеваются как неупорядоченные, так и собственно упорядоченные структуры (структуры отношений). При этом сама структура определяется через категорию порядка или отождествляется с порядком, способом связи элементов.

В. И. Свидерский определяет структуру как систему отношений, способ упорядочения элементов, принцип строения². Л. А. Петрушенко дает следующее определение структуры: «Структурой или внутренним строением системы мы называем общий качественно-определенный и относительно устойчивый порядок внутренних пространственно-временных связей и отношений между подсистемами, который определяет в том или ином отношении функциональную деятельность данной системы и характер ее взаимодействия с другими системами или окружаю-

¹ Цит. по кн.: Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., 1962, стр. 208.

² См. В. И. Свидерский. Об отражении элементов и структуры явлений в формах познания. В кн.: «Некоторые вопросы методологии научного исследования», вып. I. Изд-во Ленингр. ун-та, 1965, стр. 158.

щей средой»¹. Структура понимается как порядок связей, порядок отношений между элементами (подсистемами) данной системы, т. е. как структура порядка. Здесь понятия «структура» и «порядок» в определенном смысле совпадают.

Определенный порядок характерен не только для структуры как инвариантного аспекта систем, но и для функционирования систем (структур). Р. Джерард выделяет два вида упорядоченности — структурную и функциональную упорядоченность². Этим делением классификация видов упорядоченности, конечно, не исчерпывается, но мы ее проводить не будем.

При исследовании различных систем полезно фиксировать присущие им типы упорядоченности — порядковые типы. Мы заимствуем этот термин из теории множеств, придавая ему более широкий смысл. В теории множеств говорят, что порядковый тип — это то общее, что присуще всем изоморфным между собой упорядоченным множествам³; иначе можно сказать, что изоморфное отображение сохраняет отношения порядка. Аналогично мы будем говорить, что системы, эквивалентные друг другу в смысле структуры отношений, имеют один и тот же порядковый тип. Правильным будет и обратное утверждение: если системы характеризуются одним и тем же порядковым типом, то их структуры идентичны.

Наука представляет собой знание об общем, поэтому, изучая феномен упорядоченности, мы стремимся выделить различные типы упорядоченности (порядковые типы), характерные для того или иного класса явлений. Представления о порядковых типах дают возможность более глубоко понять и сущность изменчивости, и сущность устойчивости, сохранения.

Так, при наличии одних и тех же исходных элементов качественные особенности систем обуславливаются спецификой их порядковых типов, т. е. способом организации, упорядочения элементов. Например, живые организмы по своему элементарному физическому и химическому составу ничем не отличаются от объектов неорганической природы; специфика живого — это специфика организации, упорядочения, структуры живых систем. В другом отношении, системы, резко различающиеся своим «субстратом», т. е. материальным составом образующих их элементов, могут иметь идентичную структуру порядка (порядко-

¹ Л. А. Петрушенко, Принцип обратной связи. М., 1967, стр. 66. (в тексте — курсив).

² См. «Концепция информации и биологические системы». М., 1966, стр. 329.

³ О понятии изоморфизма см. немного далее.

вый тип). Ярким примером служит общность процессов управления и связи в биологических системах, сложных технических устройствах и социальных системах, которая установлена кибернетикой.

Инвариантность исходных элементов, образующих данную систему, сохранение их качества также является выражением устойчивости порядкового типа.

Ведь абсолютно простых, бесструктурных элементов в природе не бывает: материя неисчерпаема вглубь. Сложную структуру имеют атомы, ядра атомов, фундаментальные частицы, известные современной физике. Качественная определенность всех этих и других структурных элементов материи обусловлена устойчивостью их порядковых типов, способов организации субэлементарного состава (при условии определенности самих субэлементарных единиц). Как видим, различия между «элементом» и «системой» (структурой) относительно. И на уровне «систем», и на уровне «элементов» качественный аспект сохранения связан с инвариантностью (сохранением) порядковых типов.

Изменение числа элементов системы приводит к изменению качества самой системы только через перестройку внутренних связей, взаимодействий в этой системе, т. е. в результате трансформаций порядкового типа.

В общей теории систем показано, что структура той или иной системы выявляется путем обобщения отношения порядка, характерного для данной системы. В результате такого обобщения мы получаем структуру, инвариантную относительно изменения значения некоторых переменных¹. Понятно, что одни и те же отношения порядка дают идентичные структуры.

Рассмотрение структур на уровне структуры отношений, структуры порядка вполне оправдано во многих областях знания — в математике, кибернетике, в ряде отраслей физики, химии, биологии и т. д. Там, где для анализа явлений не существенна природа элементов, образующих систему, а интерес представляет порядок связи элементов, тип упорядоченности, там мы можем ограничиться изучением структуры отношений, структуры порядка. Для современной науки вообще характерной тенденцией является переход к изучению именно отношений; в силу

¹ См. «Общая теория систем». М., 1966, стр. 9. По общей теории систем см. также: Г. П. Щедровицкий. Проблемы методологии системного исследования. М., 1964; И. В. Блауберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М., 1969; «Системные исследования». Ежегодник. М., 1969; «Исследования по общей теории систем». М., 1969.

этого особое значение приобретает анализ структуры отношений, структуры порядка¹.

В процессе исторического развития наука переходит от рассмотрения вещей (описательные науки) к изучению свойств и отношений. Эта тенденция выражает усиление абстрактности научного знания в ходе его эволюции. Отношения — наиболее «тонкий» элемент реальности. В терминах отношений наиболее адекватно выражается сущность вещей и явлений. Сами законы природы есть не что иное, как существенные отношения. Характерной чертой отношений с точки зрения познания действительности является безграничная возможность их обобщения. Известный советский психолог и философ С. Л. Рубинштейн пишет: «Особенно широкие возможности открывает обобщение отношений. Система положений, выражающая зависимость производных отношений от исходных, может быть распространена сразу на любую совокупность предметов, между которыми имеют место исходные отношения, независимые от всех прочих свойств этих предметов»². Только изучение структуры отношений в живом организме, в обществе и в технических системах, установление изоморфизма этих структур могло привести к созданию кибернетики.

Из всех инвариантных аспектов систем особый интерес представляет инвариантность структуры отношений — сохранение данного типа упорядоченности, наличие однотипных структур порядка в различных системах и т. п. Самым устойчивым элементом реальности оказываются именно отношения.

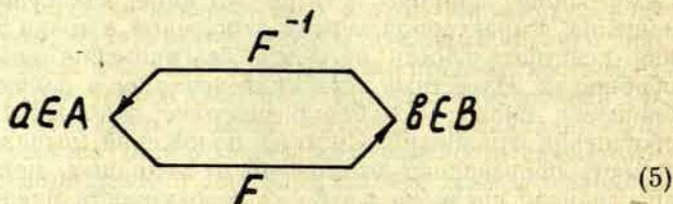
Понятие структуры (структуры порядка) тесно связано с понятием симметрии. Забегая вперед, можно сказать, что симметрия есть феномен структурный, есть форма упорядоченности. В то же время симметрия является одной из форм сохранения, существенным моментом сохранения вообще, поэтому необходимо выяснить содержание данного понятия.

Смысл понятия симметрии в самом общем виде раскрывается теорией множеств и теорией групп — на основе таких понятий, как взаимно однозначное соответствие, группа, изоморфизм,

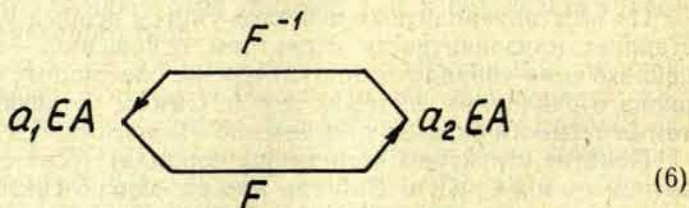
¹ Вообще говоря, такой доминирующей тенденцией в развитии методов исследования является системно-структурный анализ, для которого характерны два взаимосвязанных момента: (а) квантификация, т. е. расчленение объекта исследования на простейшие, неделимые в данной области структурные элементы (единицы), и (б) анализ отношений между этими элементами. Примерами могут служить химическая и физическая атомистика, структурная лингвистика, генетика и т. д.

² С. Л. Рубинштейн. О мышлении и путях его исследования. М., 1958, стр. 41.

автоморфизм и т. п. Взаимнооднозначное соответствие (как вид отображения, преобразования) — это такое соответствие между элементами двух множеств, при котором каждому элементу первого множества соответствует только один элемент второго множества, и наоборот — каждому элементу второго множества соответствует только один элемент первого. Символически взаимно однозначное соответствие можно изобразить так:



где F — некоторое преобразование;
 F^{-1} — преобразование, обратное данному;
 \in — отношение принадлежности элемента множеству.
 При отображении множества на себя мы имеем:



Под группой преобразований понимают совокупность преобразований элементов множества, которая удовлетворяет следующим условиям:

- 1) содержит тождественное преобразование, т. е. такой элемент e , называемый единичным (нейтральным), что $ae = ea = a$;
- 2) вместе с каждым преобразованием F содержит также и обратное ему преобразование F^{-1} ;
- 3) если содержит преобразования F и F^{-1} , то содержит также и их произведение FF^{-1} .¹

Операция умножения (сложения, композиции), заданная на множестве и удовлетворяющая этим условиям, именуется групповой операцией.

¹ См. напр.: М. Хамермеш. Теория групп и ее применение к физическим проблемам. М., 1966, стр. 19.

Две группы называются изоморфными, если элементы одной из них можно так сопоставить с элементами другой, что произведению любых элементов первой группы будет отвечать произведение соответствующих элементов второй группы. Понятие изоморфизма в общем виде можно определить следующим образом: две системы (структуры) являются изоморфными, «если между их элементами можно установить взаимно-однозначное соответствие, при котором отмеченные свойства (отношения) одной системы переходят в отмеченные свойства (отношения) другой системы»¹. Абстрактная теория групп изучает те свойства групп, которые сохраняются при изоморфных отображениях. Соотношение изоморфизма представляет собой, очевидно, отношение эквивалентности (оно симметрично, транзитивно и рефлексивно). Следовательно, если нас интересует не природа элементов множества, а только характер их отношений, то два изоморфных между собой множества можно рассматривать как эквивалентные.

Если между элементами двух групп существует однозначное соответствие, но нет взаимно однозначного соответствия, то мы имеем дело с гомоморфизмом. При гомоморфном отображении одна группа не является точной «копией» другой, как в случае изоморфного отображения. Гомоморфизм можно рассматривать, пренебрегая математической строгостью, как неполный изоморфизм. Вообще же изоморфизм есть частный случай гомоморфизма.

Изоморфное отображение множества с данной системой операций на себя называется автоморфизмом. Понятие автоморфизма фиксирует те отношения между элементами множества, которые остаются неизменными, инвариантными относительно некоторой группы преобразований. Пользуясь понятием автоморфизма, можно дать общее определение симметрии. Пусть дано некоторое множество M , в котором учитываются определенные связи (отношения) между элементами, и пусть P есть некоторая часть M . Говорят, что совокупность P симметрична, или инвариантна, относительно преобразования F множества M , если преобразование F переводит каждый элемент множества P снова в элемент множества P . Симметрия множества P характеризуется совокупностью преобразований объемлющего множества M , преобразующих P в себя².

¹ П. С. Новиков. Элементы математической логики. М., 1959, стр. 23.

² См. А. И. Мальцев. Группы и другие алгебраические системы. В кн.: «Математика, ее содержание, методы и значение», т. III. М., 1956, стр. 255.

В символической записи смысл симметрии (инвариантности) можно представить таким образом:

$$\forall x, x_1 \in P \left\langle \begin{array}{c} F^{-1} \\ \text{---} \\ J \\ \text{---} \\ F \end{array} \right\rangle x_2 \in P, P \subset M \quad (7)$$

- \forall — квантор общности;
 J — инвариант преобразования;
 \subset — отношение включения.

Совокупность преобразований, сохраняющих некоторый объект (тело, фигура, система и т. п.), т. е. характеризующих его симметрию, всегда является группой (группа симметрии). Симметрия выражает способы совмещения объекта с самим собой, характер и число преобразований, переводящих объект самое в себя.

Все возможные «состояния» данного объекта, при которых он остается самим собой, эквивалентны друг другу, а сам объект является инвариантом относительно перехода из одного такого «состояния» в другое. Таким образом, симметрия, а вернее — понятие автоморфизма, раскрывает точный смысл инвариантности. Здесь выясняется и смысл понятия относительности¹, которое играет большую роль в современном естествознании. Эквивалентность всех симметричных «состояний» объекта есть их относительность. Как видим, понятия симметрии, инвариантности и относительности образуют специфический комплекс; они неразрывно связаны друг с другом. Эта связь для частного, но очень важного случая была установлена уже Галилеем, хотя он и не мог выразить ее в явном виде (относительность механического движения, инвариантность законов механики относительно перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой, симметрия всех инерциальных систем относительно подстановок).

Отметим ряд моментов, существенно важных для понимания симметрии и инвариантности:

1) Симметрия и инвариантность характеризуют различные

¹ См. Г. Вейль. Классические группы, их инварианты и представления. М., 1947.

отображения, преобразования множества (системы, структуры) на себя, поскольку они непосредственно и в общем виде определяются на основе понятия автоморфизма. Если имеются две зеркально симметричные системы (фигуры), то по отношению к метасистеме они выступают как части единой системы, которая отображается на себя. Вместо преобразований объекта в себя можно рассматривать преобразования координатной системы, в которой описывается данный объект: объект симметричен, если он одинаково выражается в различных, определенным образом преобразуемых друг в друга, системах координат¹. Если «инвариантность» понимать в смысле сохранения, то симметрию можно определить как особого рода инвариантность относительно реальных и (или) мыслимых преобразований (изменений), обладающих теоретико-групповыми свойствами², причем речь должна идти об автоморфных преобразованиях. Заметим, что отображение объектов на себя, представляющее большой интерес для научного познания, есть особая форма отображения как всеобщего свойства материи.

2) О свойствах симметрии можно говорить лишь тогда, когда: (а) мы имеем существенно изолированный объект; (б) когда этот объект является частью объемлющего множества, метасистемы, метаструктуры и т. п.; (в) когда преобразования, характерные для метасистемы, переводят данный объект в себя. Симметрия объекта «самого по себе» не имеет смысла; она проявляется всегда по отношению к чему-то внешнему («среда») и в то же время характеризует внутренние свойства объекта. Таким образом, симметрия выступает как специфическое проявление единства внутреннего и внешнего.

3) Симметрия (инвариантность) по своему определению является выражением единства изменения и сохранения: при всех преобразованиях совокупности P в себя объемлющее множество M остается неизменным (преобразуется в себя). Поскольку все «состояния» симметричного объекта равноценны по отношению к самому объекту и к «среде», то симметрия есть также особый случай эквивалентности (равенства). Можно сказать, что симметрия выражает моменты тождества в различии и различия в тождестве.

Трактовка симметрии, инвариантности и относительности как

¹ См. В. П. Криндач, Б. И. Спасский. Принцип симметрии. В кн.: «История и методология естеств. наук», вып. VII. Изд-во Моск. ун-та, 1968, стр. 307.

² См. Ю. А. Урманцев. Сохранение, симметрия и структура с точки зрения философии. «Вопр. филос.», 1968, № 1, стр. 162.

понятий, образующих единый концептуальный комплекс, не является общепринятой. Даже между понятиями симметрии и инвариантности проводится иногда резкое различие. Однако доминирующей тенденцией является сближение этих понятий. Как пишет Н. Ф. Овчинников, важно «не впадать в терминологический ригоризм, когда речь идет о метатеоретическом анализе природы научного знания. В этом случае содержательное рассмотрение понятий симметрии и инвариантности обнаруживает не только различие, но и сходство. Говорим ли мы о симметрии вещей или об инвариантности пространственно-временных отношений, мы так или иначе обнаруживаем общую черту этих понятий. И в том и в другом случае имеют место некоторые сохраняющиеся характеристики или элементы исследуемого объекта — будь то вещи, свойства или отношения. При рассмотрении этой общей черты упомянутых понятий в специальных исследованиях и методологических работах говорят о сохранении, инвариантности, относительности, симметрии»¹.

Симметрия — не экзотический феномен природы. Она является выражением устойчивости, сохранения, инвариантности. Для всех форм сохранения характерны элементы симметрии.

Любое изменение, преобразование, а значит и отображение (см. формулу 1), предполагает некоторую инвариантную основу, т. е. определенную эквивалентность, моменты тождества исходного и конечного состояний, прообраза и образа — генетическое тождество, структурный изоморфизм, адекватность отображения и т. п. Символически моменты тождества оригинала и его образа можно представить в виде отношения эквивалентности, но отношение эквивалентности является симметричным:

если $a=b$, то $b=a$.

Все это определяет значение принципов симметрии для познания. «Симметрия, бесчисленные примеры которой поставляет нам природа, — пишут Г. Джаффе и М. Орчин, — одно из самых распространенных явлений во Вселенной. Понятие симметрии в более или менее сложном виде включено во все представления, развиваемые человеком»².

Р. Хоштрассер отмечает, что соображения симметрии входят в структуру интуитивного знания. «Соображения симметрии играют большую роль в том, что называют физической интуицией, а роль теории групп обычно заключается в математиза-

¹ Н. Ф. Овчинников. Структурное единство и синтез научного знания в свете ленинских идей. «Вопр. филос.», 1969, № 10, стр. 38.

² Г. Джаффе, М. Орчин. Симметрия в химии. М., 1967, стр. 11.

ции интуитивного мышления, и тем самым теория групп облегчает понимание сложных явлений»¹.

Обычно под симметрией понимают симметрию пространственных фигур — геометрическую симметрию. В этом случае нас интересуют такие преобразования, которые оставляют неизменными расстояния между точками множества. Операциями симметрии (их называют «движениями» пространства) здесь являются параллельные переносы, повороты и зеркальные отражения фигур. Параллельные переносы и повороты — это непрерывные преобразования, зеркальные отражения — дискретные преобразования. Степень симметричности фигуры характеризуется совокупностью тех движений, которые переводят фигуру самое в себя. Чем богаче и разнообразнее эта совокупность движений (группа симметрии), тем большей степенью симметричности обладает данная фигура. Если группа симметрии не содержит никаких движений, кроме тождественного преобразования, то фигура является асимметричной. Асимметрию можно рассматривать как простейший (тривиальный) случай симметрии: любое тело всегда симметрично самому себе и своему зеркальному изображению.

Если симметрия вообще связана с вычленением эквивалентных «состояний» системы, которые могут замещать друг друга, оставляя систему (структуру системы) неизменной, то геометрическая симметрия раскрывает пространственную структуру тел, выделяя в них равные части. Симметрия конкретизирует и развивает понятие равенства (эквивалентности).

Возьмем два примера. 1) **Симметрия квадрата на плоскости.** Степень симметричности этой фигуры характеризуется совокупностью движений плоскости, совмещающих квадрат сам с собой. Из рис. 1 легко определить, что группа симметрии квадрата ABCD состоит из восьми движений: это повороты вокруг его центра O на углы, кратные 90° , и отражения относительно прямых, проходящих через центр (диагоналей AC, BD и прямых KL, MN). Фигура делится на равные и симметрично расположенные части.

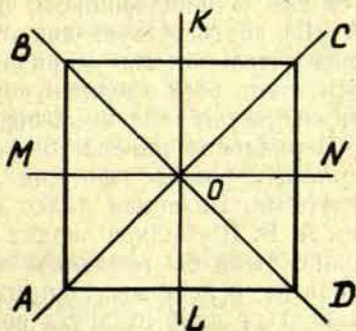


Рис. 1.

¹ Р. Хохштрассер. Молекулярные аспекты симметрии. М., 1968, стр. 11.

2) Симметрия винта и его зеркального отражения (рис. 2).

При зеркальном отражении геометрических фигур типа винта мы сталкиваемся с особым видом равенства и симметрии. Правый винт при зеркальном отражении переходит в левый и наоборот.

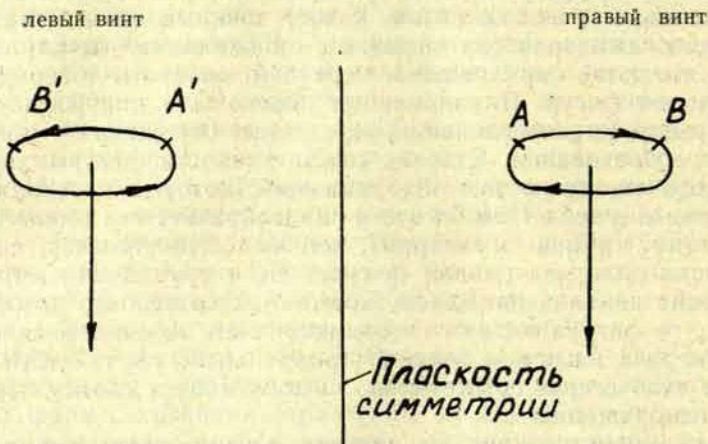


Рис. 2.

рот. Оригинал и его зеркальное отражение во всем эквивалентны друг другу за исключением направления вращения винта (правое и левое вращение). Подчеркнем, что при этом сохраняется тип упорядоченности: движению от A к B в одном случае ($A < B$) соответствует движение от A' к B' в другом ($A' < B'$). Следовательно, тип упорядоченности является инвариантом относительно всех операций симметрии, поскольку он сохраняется также при параллельных переносах и вращениях.

Зеркальное равенство фигур выступает как антиравенство. Зеркально-равные фигуры называют энантиоморфными фигурами. Развивая далее представления о симметрии, академик А. В. Шубников вводит особый знак «заряда», по которому можно было бы различать энантиоморфные фигуры помимо их правизны и левизны. Например, правая и левая перчатки могут отличаться друг от друга еще и цветом — быть черной или белой. Правое и левое, черное и белое, положительное и отрицательное и т. п. — все это взаимно противоположные знаки в смысле энантиоморфизма¹. Преобразование правого винта в ле-

¹ См. А. В. Шубников. Проблема диссимметрии материальных объектов. М., 1961.

вый при зеркальном отражении есть изменение знака энантиоморфизма.

Свойства симметрии рассматриваются на двух уровнях обобщения. Первый уровень — это симметрия фигур, связанная с их переносами и вращениями. Второй уровень — это зеркальная симметрия (антисимметрия) и вообще все случаи энантиоморфизма. Антисимметрию можно рассматривать как симметрию трехмерных фигур в четырехмерном пространстве¹. На обоих этих уровнях симметрии противостоит диссимметрия как отсутствие некоторых элементов симметрии. Энантиоморфизм второго порядка (пример с перчатками) и выше получил название обобщенной симметрии. Этот тип симметрии играет важную роль в современной физике.

Заметим, что развитие представлений о симметрии идет не только по пути исследования различных видов энантиоморфизма, но и по многим другим направлениям. В частности, изучается криволинейная симметрия (гомология), симметрия подобия, многоцветная симметрия и т. д.² Все эти высшие формы симметрии обнаруживаются в реальных телах — в живой и неживой природе.

Все многообразные виды симметрии можно разделить на три группы:

- а) абстрактно-алгебраическая симметрия;
- б) геометрическая симметрия;
- в) физическая симметрия.

Основой учения о симметрии является теоретико-групповой подход, т. е. симметрия в смысле абстрактной алгебры. Геометрическая симметрия — это симметрия метризуемых объектов, для которых определены расстояния между точками, остающиеся неизменными при определенных преобразованиях. Под физической симметрией здесь понимается симметрия тел неживой и живой природы, в том числе динамическая симметрия, известная в физике³.

¹ См. А. В. Шубников. Симметрия и антисимметрия конечных фигур. М., 1951.

² См. И. И. Шафрановский. Симметрия в природе. Л., 1968, стр. 45—50.

³ Кроме работ, на которые даны ссылки, по общим вопросам симметрии см.: Г. В. Вульф. Симметрия и ее проявление в природе. М., 1919; В. И. Вернадский. Принцип симметрии в науке и в философии. «Вопр. филос.», 1966, № 12; А. В. Шубников. Симметрия. Изд-во АН СССР, 1940; В. С. Готт. Симметрия и асимметрия. М., 1965; А. С. Компанец. О симметрии. М., 1965; Ю. В. Таммару. О познавательной роли принципов симметрии. В кн.: «Логика и методология науки». М., 1967.

На любом уровне познания, в любой области действительности принципы симметрии помогают раскрыть структурные свойства объектов, выявить структурные инварианты тех или иных систем.

Это объясняет возрастающее значение принципов симметрии и инвариантности для естествознания, для современного научного анализа вообще.

Герман Вейль, подводя итоги своих исследований в области симметрии, делает обобщающий вывод, который он называет руководящим принципом современной математики: «всякий раз, когда вам приходится иметь дело с некоторым объектом Σ , наделенным структурой, попытайтесь определить группу его автоморфизмов, т. е. группу, элементами которой являются преобразования, оставляющие без изменения все структурные соотношения. Вы можете рассчитывать на то, что на этом пути вам удастся глубоко проникнуть во внутреннее строение объекта Σ . После этого вы можете приступить к исследованию симметричных конфигураций элементов, т. е. конфигураций, инвариантных относительно некоторой подгруппы группы всех автоморфизмов...»¹ Теоретико-групповые методы дают возможность выявить структурные инварианты интересующих нас объектов, раскрыть симметрию этих структур и тем самым приблизиться к пониманию сущности изучаемых явлений.

Выше отмечалось, что симметрия развивает и углубляет понятие равенства (эквивалентности); но отношение эквивалентности мы рассматриваем как простейший случай упорядоченности. Поэтому и симметрию можно трактовать как форму упорядоченности.

Вообще же связь «порядка» и «симметрии» является двусторонней: знание характера упорядоченности дает нам ключ к структурному объяснению свойств симметрии той или иной материальной системы, а принципы симметрии помогают установить тип упорядоченности (структуру порядка). Так, в кристаллографии дальний порядок изучается методами симметрии бесконечных фигур. В химии высокомолекулярных соединений учитывается симметрия ближнего и дальнего порядка. Однородность и изотропность макроскопических свойств вещества (а это есть проявления симметрии) находят свое объяснение на основе представлений о порядке. Полный беспорядок (газы) ведет феноменологически к однородности и изотропии свойств физических систем (здесь беспорядок — через симметрию макроско-

¹ Г. Вейль. Симметрия. М., 1968, стр. 159—160.

пических свойств системы — становится видом упорядоченности). Дальний порядок (кристаллы) обуславливает однородность свойств вещества и в то же время его неизотропность. Ближний порядок (жидкости) ведет к неоднородности и неизотропности свойств¹. Взаимосвязь упорядоченности и симметрии имеет многообразные проявления на разных структурных уровнях материи.

4. Сохранение как атрибут материи и категория познания

Мы определили сохранение как инвариант изменений, выражая этим ту мысль, что для любых изменений, преобразований, процессов характерно наличие определенных моментов устойчивости, сохранения. Если это положение справедливо, то оно должно выполняться на всех уровнях познания действительности — от эмпирического до абстрактно-философского. Рассмотрим проблему сохранения на уровне предельно широких абстракций.

Предельно широкими понятиями, выражающими общую структуру реальности, являются категории «материя» и «сознание». Материя есть объективная реальность, непосредственное бытие; сознание — субъективная реальность, опосредованное, отраженное бытие. Определение материи, которое дано В. И. Лениным, выражает в форме понятий материалистическое решение основного вопроса философии — вопроса о соотношении двух видов реальности: объективной и субъективной. «Материя есть философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них»².

Соотношение материи и сознания, объективной реальности (объекта) и субъективной реальности (субъекта)³ можно записать символически:

$$\text{ORS} \quad \left| \begin{array}{l} 1) \ O < S \\ 2) \ O = S \end{array} \right| \quad O \leq S \quad (8)$$

¹ См. А. И. Китайгородский. Введение в физику. М., 1959, гл. 32; Ф. Лейтвин, Ш. Зоммер-Кулачевски. Кристаллография. М., 1968.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 131.

³ Мы не отождествляем понятий «объективная реальность» и «объект», «сознание» и «субъект», но в данном случае строгое их различие не требуется. О соотношении этих категорий см., напр.: П. С. Дышлевый. В. И. Ленин и философские проблемы релятивистской физики. Киев, 1969, стр. 188—198.

где O — объект (объективная реальность, материя);
 S — субъект (субъективная реальность, сознание);
 R — некоторое отношение;
 $<$ — отношение порядка;
 $=$ — отношение эквивалентности.

ORS — символическая запись основного вопроса философии. Первая сторона основного вопроса философии: 1) $O < S$ — материя первична, сознание вторично; вторая сторона: 2) $O = S$ — сознание адекватно (изоморфно, гомоморфно) бытию, эта адекватность является результатом отображения бытия в сознании, объекта — на субъект ($O \rightarrow S$).

Комбинация символов \leq в данном случае обозначает, что отношения порядка и эквивалентности существуют одновременно¹.

Определение материи как объективной реальности *implicite* содержит в себе признание сохраняемости, постоянного пребывания внешнего мира, невозможности его творения из ничего и превращения в ничто. Ф. Энгельс писал, что «материя противостоит нам как нечто данное, как нечто несотворимое и неуничтожимое...»² В. И. Ленин, критикуя русского махиста А. Богданова, который пытался отождествить понятие материи с представлением о «неизменной» сущности вещей, писал: «Признание объективной реальности внешнего мира, признание существования вне нашего сознания вечно движущейся и вечно изменяющейся материи смешивается здесь с признанием неизменной сущности вещей»³. Подчеркивая вечною сущность материи, В. И. Ленин указывает тем самым, что сохранение (выступающее здесь в виде вечности) является атрибутом материи. Ту же мысль проводит академик С. И. Вавилов: «Сохранение, неразрушимость материи как объективной реальности — одно из необходимых условий ее материальности и ее объективности»⁴.

Категория объективной реальности, материи охватывает все, что существует вне и независимо от нашего сознания, не делая различия на этом уровне абстракции между устойчивым и проходящим, существенным и несущественным, необходимым и случайным и т. п. В процессе познания мы аналитически расчле-

¹ Вообще соотношение оригинала (операнда) и его образа можно представить в виде $O \leq O'$; отношение порядка выражает здесь первичность оригинала и вторичность образа, отношение эквивалентности — соответствие (адекватность) образа своему оригиналу.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 392.

³ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 285.

⁴ С. И. Вавилов. Собр. соч., т. III. М., 1956, стр. 102.

нием объективную реальность на три уровня: субстанцию, атрибуты и акциденции. Субстанция — это материальная основа всех изменений в окружающем нас мире; именно к материальной субстанции следует отнести формулировку Маркса: «Материя является субъектом всех изменений»¹. Атрибуты — неотъемлемые свойства субстанции, которые выражают ее сущность и без которых она не может ни существовать, ни мыслиться. С помощью атрибутов мы в определенном смысле «моделируем» субстанцию. Акциденции — это временные, преходящие, несущественные свойства вещей и явлений в отличие от атрибутивных свойств и от субстанции. Ф. Энгельс отмечал, что субстанция и акциденция являются соотносительными категориями²; они выражают единство противоположных моментов в структуре объективной реальности.

В. И. Ленин подчеркивал, что понятие субстанции есть «важная ступень в процессе развития человеческого познания природы и материи», что «надо углубить познание материи до познания (до понятия) субстанции», что познание идет «от внешности явлений к субстанции»³.

Субстанция — материальная основа единства всех атрибутов. Логически — это способ организации атрибутов в единое целое, непротиворечивую систему основных положений, которые вводятся по правилам аксиоматики. Категория субстанции является «особой точкой» научного анализа: если все в мире обусловлено, то субстанция существует безусловно; если все конкретные вещи и явления имеют свою причину в чем-то другом, то субстанция есть причина самой себя; если все реальные вещи претерпевают со временем качественные изменения, превращаются во что-то иное, то субстанция преобразуется самое в себя; и т. д. В процессе познания мы все более и более «приближаемся» к полному понятию субстанции, никогда его не достигая, ибо никогда не завершается процесс суммирования относительных истин на пути к абсолютной истине в ее «полном», «завершенном» виде; однако на каждом данном уровне знаний мы обладаем элементами абсолютной истины, которые нарастают по мере развития познания. Ни одна концептуальная модель субстанции не может считаться окончательной; в лучшем случае такая модель будет системой атрибутов, соответствующей данному уровню наших знаний об окружающем мире.

Материальная субстанция уже по самому своему определе-

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 2, стр. 143.

² См. К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 537.

³ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, 142—143.

нию (как субъект, инвариантная основа всех изменений) обладает атрибутивным свойством сохранения. К такому же заключению мы придем, исходя из общего определения сохранения: сохранение есть инвариант изменений. Если субъектом всех изменений является материальная субстанция, то отсюда следует вывод, что сохранение есть атрибут материи (субстанции). Иными словами, самую глубокую основу сохранения мы идентифицируем с материальной субстанцией.

Еще домарксовские материалисты онтологически разделили окружающий мир на четыре «элемента»: материю, движение, пространство и время.

Материя выступала здесь как субстанция, а движение, пространство и время — как ее атрибуты. Материализм всегда исходил из принципа сохранения материи и движения. Ф. Энгельс писал, что «несотворимость и неразрушимость материи... , а равно несотворимость и неразрушимость движения — ... все это — давным-давно известные нам вещи»¹.

Признание сохраняемости материи означает признание сохранения атрибутом материи. В начале этого века В. И. Ленин высказал мысль о всеобщности, атрибутивности свойства отражения, и сейчас имеются все основания для того, чтобы считать эту мысль бесспорной. В настоящей работе выдвигается положение о том, что в качестве одного из атрибутов материи мы можем рассматривать упорядоченность, которая имеет многообразные проявления (пространство, время, причинность, закономерность и т. п.). Ряд исследователей рассматривают в качестве атрибутов материи такие всеобщие ее свойства, как абсолютность, бесконечность, структурность и др. Таким образом, на современном этапе развития научного знания мы не можем ограничиваться классической схемой атрибутов (движение, пространство, время). Возникает необходимость в разработке новых концептуальных моделей субстанции — системы атрибутов, которая отвечала бы современному уровню знаний.

По мере развития научного знания будут обнаруживаться все новые и новые атрибутивные свойства материи, обобщаться известные к тому или иному времени атрибуты и т. п. Еще Спиноза высказывал мысль о том, что субстанция имеет бесконечное число атрибутов. В те времена этот вывод опирался лишь на логические основания и интуицию; сейчас мы приходим к аналогичному заключению на основе обобщения достижений конкретных наук.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 65.

Для наших целей не требуется анализа проблемы атрибутов материи. Мы ограничимся лишь некоторыми замечаниями, имея в виду атрибуты движения, сохранения, отражения и упорядоченности, которые так или иначе рассматриваются в настоящей работе. Прежде всего отметим, что атрибутивные свойства материи формулируются на пределе абстрагирующей способности мышления, поэтому их невозможно вывести из каких-либо других положений или свести к ним. Невыполнение этого условия свидетельствовало бы о том, что данные свойства не являются атрибутивными. В онтологическом плане эта мысль сформулирована Спинозой. «Природа субстанции такова, что каждый из ее атрибутов представляется сам через себя, так как все атрибуты, которые она имеет, всегда существовали в ней вместе, и ни один из них не мог быть произведен другим, но каждый выражает реальность или бытие субстанции.»¹

С логической точки зрения атрибуты материи (утверждения об атрибутивности тех или иных свойств материи) должны удовлетворять требованиям аксиоматизации теории. Важнейшими требованиями, которые предъявляются к системе аксиоматически принятых положений, являются непротиворечивость, независимость и полнота².

Требование независимости применительно к системе атрибутов материи мы разъяснили выше. Непротиворечивость системы атрибутов доказывается тем, что атрибуты материи, будучи качественно отграниченными друг от друга, в то же время тесно друг с другом связаны, как бы переплетаются между собой, образуя действительную систему. Движение есть изменение вообще, в то же время имеет место сохранение движения; само сохранение есть инвариант изменений; одной из форм сохранения является сохранение данного типа упорядоченности; для процессов отображения характерно единство изменения и сохранения; и т. д. Аналогичность, изоморфизм общей структуры движения и отображения (формула I) есть выражение единства атрибутов материи. Что касается полноты той или иной концептуальной модели субстанции (системы атрибутов), то можно говорить о полноте такой модели лишь в относительном смысле, применительно к данному уровню наших знаний о мире. Вообще следует иметь в виду, что указанные выше требования к аксио-

¹ Б. Спиноза. Избр. произведения, т. 1, стр. 368.

² См. Д. Гильберт и В. Аккерман. Основы теоретической логики. М., 1947, стр. 61—67. Эти требования относятся к числу металогических принципов (А. Л. Субботин. Традиционная и современная формальная логика. М., 1969, стр. 30—32).

матизации в любом случае выполняются не абсолютно, ибо никогда не может быть полной уверенности, что они реализованы безусловно.

Итак, мы будем исходить из того, что все атрибуты материи в системе наших знаний о мире имеют аксиоматическую природу. Таков их логический статус. Сами же определения сохранения, упорядоченности и т. д. считаются интуитивно ясными. А. А. Зиновьев отмечает: «Выражение «упорядоченность (порядок) предметов» мы принимаем за первично ясное, ограничиваясь примерами и пояснениями»¹. Точно также мы считаем интуитивно ясными понятия «движение» как изменение вообще, «сохранение» как инвариант изменений, «отображение» как соответствие элементов реальности друг другу.

Мы рассматривали свойство сохранения на уровне атрибутов материи. В следующем параграфе феномен сохранения будет рассмотрен с точки зрения различных уровней его познания, а в главе II будет дан анализ принципов сохранения в современном естествознании. Сейчас же нам необходимо рассмотреть феномен сохранения в области отраженного бытия — в рамках психической формы отражения, гносеологических и логических процессов. Только в этом случае можно будет сделать вывод о том, что понятие сохранения носит категориальный характер, т. е. что оно применимо как для анализа предметного мира, так и для анализа различных сторон психики, сознания.

На уровне *Homo sapiens* природа приходит к осознанию самой себя. В этом смысле сознание как продукт высокоорганизованной материи есть результат специфического отображения материи самой на себя. Сознание, мышление, — писал Ф. Энгельс, — это продукты человеческого мозга, а «сам человек — продукт природы, развившийся в определенной среде и вместе с ней. Само собой разумеется в силу этого, что продукты человеческого мозга, являющиеся в конечном счете тоже продуктами природы, не противоречат остальной связи природы, а соответствуют ей»². Это соответствие мышления и бытия естественно выразить с помощью категории отображения: сознание есть отражение внешнего мира. Данное утверждение является исходным для научной теории познания.

Сознание есть отражение внешнего, объективного мира в виде субъективных (психических, идеальных) образов — ощущений, восприятий, понятий и т. п. Это отражение не является простым

¹ А. А. Зиновьев. Основы логической теории научных знаний. М., 1967, стр. 202.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 34—35.

соответствием элементов объективной реальности и элементов сознания. В сознании адекватно воспроизводится также и структура материальных объектов (структура порядка, упорядоченность, порядковый тип). Поэтому можно сказать в определенном смысле, что сознание изоморфно бытию.

Это утверждение соответствует известному материалистическому положению об адекватности сознания, мышления бытию.

Однако изоморфизм бытия и сознания не является полным; наше сознание не может отобразить все элементы и отношения между ними даже в какой-либо одной области объективного мира. Материя бесконечно многообразна по своим свойствам и проявлениям, а потому неисчерпаема для познания. По своей сущности сознание является обобщенным отражением действительности. В силу этого правильнее было бы говорить о гомоморфизме, характеризующем сознание как отображение бытия. Но гомоморфизм можно рассматривать как неполный изоморфизм: отдельные стороны, моменты действительности мы отражаем вполне изоморфно. Поэтому в дальнейшем мы будем говорить об изоморфизме бытия и сознания как вообще, так и при анализе различных ступеней процесса познания — ощущений, восприятий и т. п.¹

По известному выражению К. Маркса, идеальное есть не что иное, как материальное, пересаженное в человеческую голову и преобразованное в ней. «Переход» материального в идеальное в актах сознания есть диалектическое отрицание, процесс «снятия», при котором имеет место одновременное «преодоление» и «сохранение» (Энгельс): преодоление — это переход от непосредственного бытия к опосредованному, отраженному бытию; сохранение означает здесь совпадение объекта и образа по содержанию. Любое отображение предполагает сохранение в образе некоторых свойств, особенностей отображаемого.

Современный этап научного знания дает возможность в общих чертах проследить цепь изоморфных отображений, которая начинается в фундаменте самого здания мате-

¹ Психический образ (чувственный и логический) как способ отражения объективной реальности имеет три существенных аспекта, тесно связанных друг с другом: а) он адекватно отражает качество, субстанцию вещи (изосубстанционализм); б) он передает внешнюю форму предмета, структуру процессов, порядковый тип и т. п. (изоморфизм в собственном смысле); в) наконец, он воспроизводит функционирование реальных систем на том или ином уровне их организации (изофункционализм). В дальнейшем, говоря об изоморфизме бытия и сознания, мы будем иметь в виду все три аспекта психических образов, указанные выше, т. е. понимать изоморфизм в расширительном смысле. Когда В. И. Ленин пишет, что материя дана нам в ощущениях, он понимает эту «данность» в самом широком плане.

рин» (Ленин), продолжается в пределах психической формы отражения и вновь возвращается в объективный мир в виде человеческой практики, где цепь отображений замыкается сама на себя.

Уже сама структура органов чувств (рецепторов) является изоморфной структуре тех внешних процессов, которые воспринимаются тем или иным рецептором. Любой из органов чувств представляет собой сложное материальное тело, относящееся именно к той форме движения материи, отражением которой является его деятельность¹. Этот изоморфизм структуры внешних процессов и структуры рецепторов возник в результате длительной исторической эволюции органического мира.

Уподобление, изоморфизм имеет место и в самих нервных процессах. Первоначальная трансформация внешних воздействий в рецепторах представляет собой их кодирование (с помощью частотного кода и т. п.). Изоморфный код несет в себе информацию об особенностях отображаемых процессов. Этот код сохраняется на всем пути нервных процессов вплоть до высших, аналитических отделов центральной нервной системы. В корковых областях головного мозга осуществляется детектирование и декодирование сигналов, приходящих от чувствительных экстрацептивных приборов, в результате чего воспроизводится специфическое качество раздражителя. Исследования А. Н. Леонтьева и его сотрудников в области слуха и осязания показали, что «в качестве решающего момента, от которого зависит адекватное отражение отражаемого свойства, является момент уподобления процесса, составляющего эффекторное звено рецептирующей системы, отражаемому свойству»².

Коренное отличие психического отражения от всех других форм отражения состоит в том, что его результатом является воспроизведение объективного содержания предмета или процесса, при котором это содержание выходит за рамки непосредственных свойств материального субстрата отражения, т. е. отражающего. На всех предшествующих уровнях отражения (механическом, физическом, химическом и низшей форме биологического отражения — раздражимости) процесс отображения предполагает определенное сходство (однородность, гомогенность) природы отображаемого и отображающего.

На уровне психической формы отражения ситуация существенно меняется. Организация материального субстрата отра-

¹ См. Б. Г. Ананьев. Теория ощущений. Изд-во Ленинград. ун-та, 1961, стр. 14.

² А. Н. Леонтьев. Проблемы развития психики. М., 1965, стр. 181.

жения настолько усложняется, что она своим бесконечным многообразием состояний становится способной «усвоить» объективно существующие вещи, не уподобляясь им материально, а создавая психические, идеальные образы за счет «суперпозиции» определенных состояний материальной основы отражения. Если рецептор по своей структуре представляет собой физическую (химическую) модель внешних агентов, то ощущение есть субъективный (идеальный) образ внешних предметов и явлений. Ощущения и все другие элементы сознания (восприятия, представления, понятия и т. п.) в отличие от вещественных рецепторных моделей являются *идеальными* моделями материальных вещей. Сознание моделирует внешний мир с помощью психических, идеальных образов. Именно поэтому мы можем воспроизводить с помощью психических образов любые вещи, свойства и отношения внешнего мира, их качественные и количественные особенности и т. п. Отображение становится здесь более сложным и более тонким, чрезвычайно гибким.

Инвариантом психических форм отражения — от ощущения до понятия и высших логических форм — является тождество содержания (качества, структуры, функций и т. п.) отображаемого объекта и объективного содержания идеального образа. В гносеологии этот инвариант выступает в виде объективной истины. Раскрывая смысл понятия объективной истины, В. И. Ленин ставит вопрос: «существует ли объективная истина, т. е. может ли в человеческих представлениях быть такое содержание, которое не зависит от субъекта, не зависит ни от человека, ни от человечества?» и дает на него последовательно материалистический ответ: «Считать наши ощущения образами внешнего мира — признавать объективную истину — стоять на точке зрения материалистической теории познания, — это одно и то же»¹.

Психическая деятельность является функцией мозга и вместе с тем отражением объективного мира, познанием его, потому что сама деятельность мозга есть деятельность рефлекторная, отражательная, обусловленная воздействием на человека внешнего мира. Между признанием атрибутивности свойства отражения (а), рефлекторной теорией психической деятельности (б) и теорией отражения как гносеологической концепцией (в) существует теснейшая взаимосвязь. Каждому из этих уровней отображения («вся» материя, живая природа, субъект познания) соответствуют свои инварианты, совокупность которых

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 123, 132.

обеспечивает возникновение гносеологического, познавательного образа, адекватного предметам внешнего мира.

Формулируя исходный принцип своей психологической концепции, С. Л. Рубинштейн пишет: «основным способом существования психического является его существование в качестве процесса или деятельности»¹. Это процесс рефлекторный, отражательный как по физиологическому механизму, так и по своему результату (возникновение психических образов). Рубинштейн прямо ссылается на И. М. Сеченова, приводя его слова: «Мысль о психическом акте как процессе, движении, имеющем определенное начало, течение и конец, должна быть удержана как основная...» Сеченов непосредственно связывал эту мысль с рефлекторной теорией. Слова И. М. Сеченова интересны в том отношении, что они четко выражают общую структуру психических процессов: исходный пункт—ход процесса—конечный результат. Эта схема является основой для построения всех инвариантных теорий психических процессов.

Рефлекторная деятельность — это всегда деятельность, детерминированная извне, причинно обусловленная. Утверждение о рефлекторности психической деятельности означает характеристику способа ее детерминации. Причинная обусловленность психической деятельности является важным аргументом, указывающим на фундаментальную связь принципа причинности, с одной стороны, и свойства отражения, с другой. Эта связь дает возможность более глубоко понять сущность сознания как отражения внешнего мира, раскрыть процесс «преобразования» материального в идеальное, результатом которого являются инварианты, обеспечивающие адекватное (изоморфное) воспроизведение действительности в голове человека². Причина отображается в своем действии с точностью до изоморфизма, т. е. цепи причинения сохраняют в себе качественные особенности, структуру, функциональные связи, характерные для тех или иных систем, и передают их другим системам. Изоморфизм причин и следствий проявляется в рефлекторном характере психической деятельности, а в конечном итоге — в адекватности наших знаний, логической структуры мышления предметам и явлениям объективного мира (детерминация самих рефлекторных процессов и детерминация познавательного образа внешним миром).

¹ С. Л. Рубинштейн. О мышлении и путях его исследования, стр. 25.

² О соотношении причинности, отображения и сохранения см. в след. параграфе.

Материалистическая трактовка сознания, психической деятельности как отображения объективной реальности в голове человека служит общей методологической основой для разработки точных, количественных методов изучения психики, закономерностей процесса познания. Решающее значение имеют здесь теоретико-групповые методы, теория инвариантов и т. п. Большой интерес в этой связи представляют исследования видного швейцарского психолога Жана Пиаже. Характеризуя общую линию Ж. Пиаже в области «математической гносеологии», А. Н. Леонтьев и О. К. Тихомиров пишут: «Развитие познания, по Пиаже, ведет к тому, что знание субъекта об объекте становится все более устойчивым к изменяющимся условиям опыта, к изменению позиции субъекта по отношению к объекту, оно становится все более инвариантным. Пиаже применяет теорию инвариантов, в частности математическую теорию групп, к изучению процесса познания. Возникающие на различных стадиях развития мышления познавательные структуры Пиаже математически представляет в виде различных групп преобразований»¹. Инвариант группы преобразований в познавательной структуре рассматривается им как отражение свойств самого объекта. Однако Пиаже допускает непоследовательность, утверждая в то же время, что логико-математические операции извлекаются не из объектов действия, а из самого действия субъекта.

В. В. Орлов считает, что в принципе возможно создание структурно-генетических формул психических явлений. Эти формулы должны указывать физиологические элементы, лежащие в основе соответствующих психических явлений, и их соотношение. Так, сущность ассоциации (А) может быть выражена следующей формулой:

$$A \supseteq X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge \dots X_n, \quad (9)$$

где X — условные рефлексy,

\wedge — знак конъюнкции.

Значительно сложнее должны быть формулы таких психических явлений, которые возникают на основе неоднородных физиологических элементов (внимание, характер и т. п.). Как отмечает В. В. Орлов, создание структурно-генетических формул психических явлений, с одной стороны, явилось бы итогом исследования физиологической основы этих явлений, а с другой, открыло

¹ Ж. Пиаже и Б. Инельдер. Генезис элементарных логических структур. М., 1963, стр. 437. См. также: Д. Х. Флейвелл. Генетическая психология Жана Пиаже. М., 1967.

бы возможность овладения механизмом психики и тем самым возможность управления психическими процессами¹.

Немецкий психолог Ф. Кликс (ГДР), развивая материалистические традиции психофизики XIX века, идеи И. М. Сеченова, исследует законы трансформации внешних воздействий во внутренние психические состояния. В одной из своих обобщающих работ он пишет: «мы исходим из общей задачи психофизики. Правомерность ее существования основывается на утверждении, что имеются однозначные, формулируемые в виде законов отношения между раздражителями, находящимися в среде, окружающей организм, и психическими состояниями, вызванными или обусловленными ими. Исследовать эти отношения, особенно в области зрения, шаг за шагом доказывать их существование и как можно точнее формулировать характер соответствующих взаимосвязей — вот основная тема нашей работы»². С этой точки зрения необходимо считать актуальное раздражение носителем информации о свойствах внешней среды и видеть в нем своего рода величину сообщения для организма.

Ф. Кликс показывает, что раздражитель и ощущение, объект и его субъективный (чувственный) образ выступают как исходный и конечный члены одного и того же ряда процессов, которые вполне однозначно могут быть выражены некоторым законом трансформации. Основными категориями, на языке которых проводится анализ всей проблемы, являются такие понятия, как инвариант, коэффициент трансформации, изоморфизм, гомоморфизм, оператор отображения, гомология и т. п. Этот язык оказывается необходимым во всех случаях, когда исследуются процессы отображения, преобразования, трансформации.

Отметим в этой связи, что теория психологических измерений (как, впрочем, и теория измерений вообще) строится на общей основе теории отображений, и здесь мы находим уже знакомые нам понятия.

В области психологических измерений рассматриваются три основных проблемы: проблема представления, проблема единственности и проблема адекватности³. Первая из них — это установление изоморфизма (гомоморфизма) между эмпирической системой реальных объектов и подходящим образом выбранной числовой системой (системой отношений между числами и опе-

¹ См. В. В. Орлов. Психофизиологическая проблема. Пермь, 1966, стр. 354—355.

² Ф. Кликс. Проблемы психофизики восприятия пространства. М., 1965, стр. 18—19.

³ См. сб. «Психологические измерения». М., 1967.

раций над ними). Вторая связана с определением типа шкалы, с помощью которой производится измерение (шкала отношений, интервалов или порядка). Здесь основное значение играют представления о порядке, порядковых типах и т. п. Проблема адекватности измерения — это вопрос об адекватности отображения в данной области. Числовое утверждение адекватно только тогда, когда его значение истинности инвариантно относительно допустимых преобразований шкалы любого из его числовых представлений (числовое представление — это функция, гомоморфно отображающая эмпирическую систему на числовую). Простейшим способом доказательства неадекватности является подбор примера, в котором истинность утверждения не сохраняется после применения какого-либо допустимого преобразования.

Психический образ (ощущение, восприятие и т. п.), будучи отражением действительности, формируется в действии и является предпосылкой действия. Познавательная функция образа, которая состоит в более или менее адекватном отражении внешнего мира, неразрывно связана с его сигнальной функцией. Образ как таковой возник потому, что он выполняет функцию сигнала, который информирует о биологической значимости раздражителя для животного; он имеет биологическое значение лишь в качестве сигнала, способного вызывать целесообразные реакции организма. Без этой практической функции образ не мог бы ни возникнуть, ни развиваться далее, так как он был бы ненужным удвоением предмета. Образ играет регулятивную роль в поведении животных, в их приспособлении к изменяющимся условиям жизни¹.

С. А. Петрушевский подчеркивает, что «психические явления по своей природе и сущности есть не что иное, как смысловые значения предметных отношений действительности, возникающие посредством рефлекторных процессов на основе поиска удовлетворения потребностей живого организма»². Такой способ отражения действительности он называет самозаинтересованным отражением. Смысл, значение — это самые характерные черты самозаинтересованного процесса отражения. На уровне человека самозаинтересованное смысловое отражение происходит на основе трудовой деятельности и языкового общения. С. А. Петрушевский подробно развивает смысловую теорию психических процессов.

¹ См. А. Спиркин. Происхождение сознания. М., 1960, стр. 43—45.

² С. А. Петрушевский. Диалектика рефлекторных процессов. Изд-во Моск. ун-та, 1967, стр. 8.

Назначение и смысл исторического возникновения психики состоит в том, что она наиболее эффективно регулирует взаимоотношения организма со средой, обеспечивая стремление организма к самосохранению. Эти мысли высказывал еще Ч. Шеррингтон, один из классиков мировой физиологии. «Значение психического для жизни индивида, — писал он, — заключается, по-видимому, в оказании влияний на физические акты, в соблюдении интересов самосохранения — стремления, присущего организму. Следовательно, психика обеспечивает более полное соблюдение основных принципов существования, заложенных в живом организме»¹.

У человека восприятие предметов и явлений действительности приобретает значительную автономию по отношению к изменяющимся потребностям действия. «Посредством включающего в восприятие значения слова, продукта более или менее сложного обобщения, абстрагирующегося от бесконечного числа изменчивых свойств вещи, в восприятии предмета фиксируется его основное, устойчивое, постоянное (инвариантное) содержание»². Это — один из важных моментов. Другой, как отмечает далее С. Л. Рубинштейн, состоит в том, что действие не определяется непосредственно восприятием наличной ситуации. Между наличной ситуацией и действующим субъектом вклинивается в качестве опосредствующей их связи весь внутренний мир человека, весь его опыт.

Итак, термин «значение» фиксирует инвариантное содержание наших знаний об окружающем мире уже на уровне чувственного познания. То же самое можно сказать о всех других формах познания. Значения выражений — «это инварианты содержательного отражения (в чувственных образах, мыслях, научных теориях) предметов и явлений действительности у людей, употребляющих языковые и другие знаки»³. Всякое слово уже обобщает, писал В. И. Ленин. Значение слова, выступая как генерализующий оператор, выражает некоторые общие черты всех предметов и явлений, обозначаемых данным словом, т. е. значение слова представляет собой инвариант относительно всех различий, присущих обозначаемым предметам.

С точки зрения информационной, значение — это та информация, которая закрепляется в знаке. Знаки используются для закрепления, фиксации того или иного значения. «Под зна-

¹ Ч. Шеррингтон. Интегративная деятельность нервной системы. Л., 1969, стр. 26.

² С. Л. Рубинштейн. Бытие и сознание, стр. 97.

³ «Философская энциклопедия», т. 2. М., 1962, стр. 182.

ком обычно подразумевают чувственно-воспринимаемый предмет (звук, рисунок и т. п.), который в процессе познания используется для хранения, закрепления, преобразования и передачи информации»¹.

По определению И. С. Нарского, «значение представляет собой инвариант информации, переносимый словесным или несловесным знаком или сочетаниями таких. Значение — это то, что устойчиво сохраняется при преобразованиях информации...»² Предмет, знак и значение тесно связаны друг с другом. Эта связь осуществляется по линии сохранения, инвариантности: объекты познания обладают относительной устойчивостью, определенностью, которая фиксируется знаками и их значениями.

Ощущения как таковые представляют собой простейшие, неразложимые далее элементы психики. В отличие от этого характерной особенностью **восприятий** является их структурность. Восприятия — это комплексы ощущений, где отдельные ощущения играют роль элементов некоторой структуры. Именно отношения элементов (ощущений) в пределах данной структуры (восприятия) передают, отображают связи и отношения объективного мира. Структура восприятий изоморфна (или гомоморфна) структуре объективно-реальных предметов и процессов³.

Если чувственный образ рассматривать как квазиточечное множество, где элементами («точками») будут ощущения, то между отдельными сторонами, свойствами, качествами объективного мира, с одной стороны, и отдельными ощущениями, с другой, можно установить (взаимно) однозначное соответствие. Структура восприятия отражает структуру отношений, структуру порядка, порядковый тип объективно существующих вещей и процессов.

Изоморфизм объекта и его образа означает сохранение в процессе отображения того или иного порядкового типа (или набора порядковых типов). Иначе это можно выразить как

¹ П. В. Копнин. Введение в марксистскую гносеологию. Киев, 1966, стр. 118.

² «Проблема знака и значения». Изд-во Моск. ун-та, 1969, стр. 39. Близкой к этому является позиция М. В. Поповича, который рассматривает значение как инвариант преобразования знаковых последовательностей, а в рамках дескриптивной лингвистики — как «некоторый эквивалент в допустимом классе преобразований» (М. В. Попович. О философском анализе языка науки. Киев, 1966, стр. 63.).

³ Мы опираемся здесь на ряд положений, высказанных в книге: Ф. И. Георгиев, В. И. Дубовской, А. М. Коршунов, Н. Б. Михайлова. Чувственное познание. Изд-во Моск. ун-та, 1965.

инвариантность свойств и отношений относительно гносеологических отображений (преобразований). Здесь обнаруживаются топологические инварианты, проективные инварианты, инварианты аффинных и конформных преобразований и т. п.

Как отмечает Макс Борн, человек уже в самом раннем детстве приобретает способность различать и распознавать объекты. «В силу этого мир нормального человеческого существа не есть калейдоскопический ряд чувственных впечатлений, а осмысленная, непрерывно меняющаяся арена событий, в которой определенная вещь сохраняет свою идентичность, несмотря на ее меняющиеся аспекты. Эта способность души пренебрегать различием чувственных впечатлений и отмечать только их инвариантный характер кажется мне наиболее выразительным фактом нашей духовной структуры»¹.

Ту же мысль проводит Дэвид Бом.

«Представляется ясным, — пишет Д. Бом, — что из удивительно разнообразного и изменчивого потока движений и связанных с ними ответных ощущений мозг способен абстрагировать относительно инвариантную структуру ощущаемого объекта. Эта инвариантная структура с очевидностью не сводится к отдельным операциям и ощущениям и может быть абстрагирована лишь из полной совокупности таковых за некоторый период времени»².

Устойчивость психических образов на уровне восприятия обозначается как константность восприятия. Так, определенная константность присуща восприятию человека человеком. А. А. Бодалев, специально исследующий эту проблему, отмечает, что несмотря на изменения в освещенности и удаленности от наблюдателя, на переносы, вращения и т. п. образ воспринимаемого человека остается относительно постоянным³. Существует определенная константность не только в восприятии внешнего образа человека, но и его внутреннего «образа» — чужого «Я». Последнее обстоятельство обусловлено тем, что само «Я» (это «вечное чудо», по выражению Николая Гартмана) выступает как специфический инвариант по меньшей мере в двух отношениях — как инвариант всего спектра психических состояний

¹ М. Борн. Физика в жизни моего поколения. М., 1963, стр. 281. См. также: Л. М. Веккер. Восприятие и основы его моделирования. Изд-во Ленингр. ун-та, 1964; С. В. Илларионов. Гносеологическая функция принципа инвариантности. «Вопр. филос.», 1968, № 12.

² Д. Бом. Специальная теория относительности. М., 1967, стр. 240—241.

³ См. А. А. Бодалев. Восприятие человека человеком. Изд-во Ленинград. ун-та, 1965, стр. 36—37.

данного индивида (безотносительно к его истории) и как инвариант онтогенетической эволюции данной личности.

Нельзя не привести здесь ярких мыслей Виктора Гюго, характеризующих инвариантность человеческого «Я» в потоке жизни. «Все человеческое существование, — писал В. Гюго, — состоит из последовательных смен одних поверхностных напластований другими, и все в жизни непрерывно возникает и расплывается, как волны в море. Но посреди этих неизбежных изменений и превращений есть нечто существенное, что остается неизменным; и так это и должно быть, чтобы в глубине своей человек оставался тем же; чтобы в нем сохранялось известное, ничем не опровержимое тождество с самим собой. Кое-что может улетучиться, но кое-что должно устоять. Сделать себя другим, оставаясь самим собой — в этом вся задача человека»¹.

Структура чувственного образа (восприятия) изоморфна структуре материального объекта потому, что в процессе восприятия совершаются движения, изоморфные структуре объекта: глаз как бы «обшаривает» контуры предмета, рука ощупывает предмет и т. п. Изоморфное соответствие структуры образа и отображаемого устанавливается в процессе взаимодействия организма со средой; отсюда берет свое начало практика. При этом практика включается в общую цепь изоморфных отображений, которая связывает человека с окружающим миром и обеспечивает успех его деятельности.

Человек является предметным существом, и он «действует предметным образом» (Маркс). Именно в процессе практического освоения, преобразования действительности формируется изоморфизм (адекватность) структуры человеческого сознания и структуры объективно-реальных предметов и явлений. Ф. Энгельс подчеркивал, что «существеннейшей и ближайшей основой человеческого мышления является как раз изменение природы человеком, а не одна природа как таковая, и разум человека развивался соответственно тому, как человек научался изменять природу»².

С другой стороны, само существование человека было бы невозможно, если бы его практические действия не соответствовали объективным связям и отношениям. «Для материалиста, — писал В. И. Ленин, — «успех» человеческой практики доказывает соответствие наших представлений с объективной природой

¹ Цит. по кн.: М. С. Роговин. Философские проблемы теории памяти. М., 1966, стр. 3.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч. т. 20, стр. 545.

вещей, которые мы воспринимаем»¹. Практика как бы «достраивает» образ вещей, раскрывая смысл, значение образов в плане потребностей и интересов человека (самоинтересованное отражение). В обобщенном виде эту идею высказал В. И. Ленин, считая ее одним из основных моментов диалектической логики: «...вся человеческая практика должна войти в полное «определение» предмета и как критерий истины и как практический определитель связи предмета с тем, что нужно человеку»².

Поскольку в ходе практического освоения действительности в сознании человека формируются адекватные гносеологические образы, человек использует эти образы для того, чтобы придать трудовой деятельности целенаправленный характер. Осуществляя определенные трудовые операции, человек заранее, в своей голове, создает идеальную модель конечного продукта деятельности, а затем уподобляет результат труда этой идеальной модели. Здесь мы обнаруживаем один из решающих моментов, отличающих осознанную человеческую деятельность от инстинктивной «деятельности» животных. «Паук, — писал К. Маркс, — совершает операции, напоминающие операции ткача, и пчела постройкой своих восковых ячеек посрамляет некоторых людей-архитекторов. Но и самый плохой архитектор от наилучшей пчелы с самого начала отличается тем, что, прежде чем строить ячейку из воска, он уже построил ее в своей голове. В конце процесса труда получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т. е. идеально»³. В процессе трудовой деятельности человек конструирует идеальную модель продукта труда; эта модель и сам продукт изоморфны друг другу.

Практическая, предметная деятельность человека — необходимое условие формирования адекватных внешнему миру гносеологических образов как на уровне чувственного, так и на уровне логического познания. При этом сама логическая структура мышления (законы логики в широком их понимании) является изоморфной структуре практических действий человека по преобразованию предметного мира. В. И. Ленин подчеркивал, что «практика человека, миллиарды раз повторяясь, закрепляется в сознании человека фигурами логики»⁴.

Таким образом, мы можем сказать, что цепь изоморфных отображений достаточно ясно определяется на всем пути движе-

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 142.

² Там же, т. 42, стр. 290.

³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23, стр. 189.

⁴ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 198.

ния нашего познания. Алгоритм познания классически выражен В. И. Лениным: «От живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике — таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности»¹. Познание дает нам объективную истину: содержание наших знаний не зависит от человека и от человечества, оно является инвариантом всех гносеологических преобразований, переходов от объекта познания к его образу в голове человека.

Существование цепи изоморфных отображений в процессе познания говорит о том, что переход от непосредственного бытия (объективный мир) к опосредованному бытию (сознание) сохраняет связи и отношения, характерные для материального мира, сознание воспроизводит их в идеальной форме. Человеческое познание достигает объективной истины потому, что оно само движется по законам движения объекта познания. Но каждой форме движения присущи свои инварианты. Процесс познания как процесс отражения внешнего мира в голове человека также протекает согласно принципам сохранения, инвариантности.

Само «развитие интеллекта, судя по всему, базируется на возможности находить инвариантные характеристики в любой данной области операций, изменений, движений и т. п., а также осваивать соответствующие соотношения с помощью адекватных мысленных изображений, взглядов, словесных выражений, математических символов и т. д., отображающих ту структуру, которая обнаружена в реальности»².

Принципы сохранения, инвариантности характерны не только для гносеологии; они находят специфическое преломление и в логике, которая имеет дело с относительно самостоятельной областью отраженного бытия.

Своеобразным принципом сохранения в формальной логике является закон (принцип) тождества, называемый также принципом Лейбница. Этот закон служит выражением семантической инвариантности термина при изменениях контекста, т. е. сохранения его смысла, содержания, выражением эквивалентности всех значений данного термина, взятых в различных отношениях. В. Ф. Асмус пишет, что, согласно закону тождества, необходимая логическая связь между мыслями устанавливается лишь при условии, если всякий раз, когда в рассуждении появляется мысль о каком-либо предмете, мы будем «мыслить

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 152—153.

² Д. Бом. Специальная теория относительности, стр. 239.

именно этот самый предмет и в том же самом содержании его признаков»¹. Закон тождества записывается формулой:

$$A \equiv A ; \quad (10)$$

эта формула служит выражением тождественного преобразования предмета мысли в себя (эквивалентности предмета мысли самому себе).

Как показал А. И. Уемов, принцип тождества допускает многообразные обобщения²; это говорит о его содержательности и большом значении для познания.

Закону тождества подчиняется любое рациональное мышление.

Одной из важнейших проблем логики является проблема абстрагирования, образования абстракций. В. И. Ленин подчеркивал, что процесс познания — это процесс образования ряда абстракций, формирования понятий, законов и т. п.³ Широко применяется в логических исследованиях, в частности, абстракция отождествления, когда мысленно отвлекаются от несходных, различающихся свойств предметов и одновременно выделяют общие, идентифицирующие их свойства. Абстракция отождествления, по определению Д. П. Горского, «представляет собой процесс отвлечения общего в различном, отвлечения того инвариантного, что сохраняется во всех рассматриваемых различных случаях»⁴. Степень общности абстракций непосредственно отражает степень инвариантности того или иного свойства, отношения, т. е. область существования данного инварианта.

Абстракции закрепляются в языке. Речь, пишет П. Я. Гальперин, «с необходимостью создает для действия новый предмет — абстракции. Абстракции же чрезвычайно упрощают действие — устраняют его вариации. Создавая неизменный предмет, абстракции обеспечивают далее высокую стереотипность действия, а следовательно, и быструю его автоматизацию. Наконец, абстракции являются важнейшим условием образования понятий, которые снимают все ограничения, существующие для действия с чувственно данным материалом»⁵.

¹ В. Ф. Асмус. Логика. Госполитиздат, 1947, стр. 15 (в тексте — курсив).

² См. А. И. Уемов. О принципе тождества. «Вопросы философии», 1969, № 6.

³ См. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 163—164.

⁴ «Философские вопросы современной формальной логики». М., 1962, стр. 73.

⁵ «Психологическая наука в СССР», т. 1. М., 1959, стр. 456.

Понятия, которые возникают в результате абстрагирования и материализуются в словах, — это тоже «неизменные предметы», инварианты, фиксирующие некоторые устойчивые, общие признаки предметов и явлений. Наличие таких логически фиксированных «точек» является необходимым условием движения мысли, развития самих понятий и познания в целом. Здесь ситуация вполне аналогична закономерностям развития материи, где устойчивость структур на каждом из достигнутых уровней организации материи служит необходимой предпосылкой ее дальнейшей эволюции. В. И. Ленин указывал, опираясь на Гегеля, что категории (понятия вообще) суть ступеньки познания мира, узловые пункты познания¹. Эти ступеньки должны быть строго определенными, фиксированными, достаточно «жесткими», иначе они не могли бы служить опорными пунктами познания.

В современной формальной логике широко пользуются такими понятиями, как логические преобразования, логические операторы, инварианты, изоморфизм и т. п. Уже по одному этому словарю, хорошо нам знакомому, можно сделать вывод, что в логической области применимы общие принципы преобразований (отображений), принципы инвариантности.

Подчеркнем прежде всего, что сами логические связи инвариантны по отношению к конкретному содержанию мыслей и грамматическому строю предложений, посредством которых выражаются эти мысли.

Подобно тому как геометрия изучает не пространственное положение тел, а исследует лишь те свойства, которые остаются неизменными при определенных пространственных преобразованиях, «равным образом логика не изучает истинности предложений, она берет понятие «истина» готовым и изучает только те свойства, которые остаются неизменными при определенного рода преобразованиях².

Логические преобразования, осуществляющиеся с помощью логических операций, можно рассматривать как отображения, для которых характерны свои инварианты.

Отметим также инвариантность законов логики относительно формы записи (способов обозначения), которая имеет силу как для двузначной, так и для многозначной логики. При этом предполагается изоморфизм знаков, посредством которых они фор-

¹ См. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 85.

² М. В. Попович. Об универсальности логики. «Вопр. философии», 1969, № 7, стр. 108.

мулируются и определения которых принимаются во внимание при доказательствах¹.

К числу логических операторов относятся пропозициональные связки (импликация, конъюнкция и т. п.), кванторы общности и существования, оператор абстракции и т. д. Роль операторов выполняют также диаграммы Венна².

5. Причинность и сохранение

При анализе проблемы сохранения мы непосредственно сталкиваемся с необходимостью выяснить в общем виде соотношения свойств сохранения, с одной стороны, и причинно-следственных связей, с другой.

Принцип сохранения и принцип причинности тесно связаны друг с другом, так что содержание одного нельзя глубоко понять, не выяснив смысла другого; эта связь обнаруживается как исторически, так и логически, как в философском, так и в естественнонаучном отношениях. Рассматривая категорию причинности², мы с неизбежностью подходим к проблеме сохранения.

Необходимо различать понятия «детерминированность» и «причинность», хотя довольно часто они отождествляются. Детерминизм есть признание всеобщей объективной обусловленности предметов и явлений, т. е. того факта, что существование любой вещи определяется ее связями, взаимодействиями с другими вещами. При этом детерминизм не предопределяет заранее конкретных видов реальных связей и взаимодействий (однозначные, многозначные, динамические, статистические и т. п.); наоборот, он исходит из представления о неисчерпаемости связей.

Однако наше познание идет дальше — «от сосуществования к каузальности» (Ленин), т. е. к причинности. Из всех связей, так или иначе обуславливающих данную вещь, мы берем лишь ту, которая определяет само существование этой вещи. При-

¹ См. А. А. Зиновьев. Философские проблемы многозначной логики. М., 1960, стр. 10, 123.

² См. А. С. Кузичев. Диаграммы Венна. М., 1968, стр. 114.

³ О категории причинности см.: Д. Бом. Причинность и случайность в современной физике. М., 1959; «Проблема причинности в современной физике». М., 1960; Г. А. Свечников. Категория причинности в физике. М. 1961; М. Бунге. Причинность. М., 1962; А. А. Кузьмина. Категория причинности и практика. М., 1964; М. А. Парнюк. Детерминизм диалектического материализма. Киев, 1967.

чинно-следственные связи в простейшем случае выражают: (а) только связь двух предметов или явлений; (б) только воздействие одного предмета на другой; (в) только порождение одного явления другим. Ф. Энгельс писал, что только на основе универсального взаимодействия, существующего в мире, «мы приходим к действительному каузальному отношению. Чтобы понять отдельные явления, мы должны вырвать их из всеобщей связи и рассматривать их изолированно, а в таком случае сменяющиеся движения выступают перед нами — одно как причина, другое как действие»¹. Поскольку причинность есть частный случай детерминизма, мы можем называть причинность каузальным детерминизмом.

Взаимодействие как таковое (детерминация вообще) не может дать нам глубокого знания о взаимодействующих объектах, если не раскрыта результативность воздействия одного явления на другое, не выяснен процесс порождения одного явления другим, т. е. если не установлены генетические связи в данной области. Такие генетические связи называют причинно-следственными связями. Причинность есть конкретное выражение активности субстанции; она, по словам Гегеля, есть способ существования субстанции в действии.

К оценке специфики причинных связей мы должны подходить с двух сторон. Поскольку причинность отражает только генетические, производящие связи в множестве всех мировых связей, то причина и следствие — это «лишь моменты всемирной взаимозависимости, связи (универсальной), взаимосцепления событий, лишь звенья в цепи развития материи»². Но с другой стороны, все вещи и явления в мире причинно обусловлены. Среди связей детерминации, характерных для данного явления, с необходимостью существуют связи причинные, вызывающие к жизни это явление.

В действительном мире причинно-следственные связи очень сложны. Одна и та же вещь выступает и как следствие, и как причина. Следствие оказывает воздействие на породившую его причину (обратные связи); последовательные причинно-следственные переходы образуют своеобразные «цепи причинения», которые переплетаются и взаимодействуют друг с другом весьма сложным образом, и т. д.

Поскольку отношение причинности выражает способ действия субстанции, переход причины в следствие есть процесс саморазвертывания сущности, при котором данная вещь порож-

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 546—547.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 143.

дает нечто новое и в то же время лишь обнаруживает сама себя в своем действии. «Таким образом возникает совершенно новый образ вещей, — писал Гегель, — и вместе с тем не возникает ничего другого по сравнению с тем, что было раньше, ибо первая действительность лишь полагается соответственно ее сущности. Условия, которые жертвуют собою, которые погибают и поедаются, сливаются в другой действительности лишь с самими собою»¹.

В этом фрагменте содержится ряд глубоких мыслей. Прежде всего, причинно-следственную связь можно рассматривать как процесс отображения причины в своем действии. На языке системно-структурного анализа это означает «перенос структуры от причины к следствию, т. е. воспроизведение в ходе причинения структуры причины в структуре следствия, «отображение» первой во второй (причем структура причины воспроизводится в структуре следствия с точностью до изоморфизма). Факт передачи структуры от причины к следствию лежит в основе присущего материи свойства отражения»².

Поскольку данный объект может иметь несколько «каналов» причинно-следственной связи, то в общем случае отображение множества причин на множество следствий будет гомоморфным.

Но само понятие отображения предполагает соответствие объекта и его образа, сохранение некоторых существенных черт и сторон явления в процессе отображения. Не удивительно поэтому, что Гегель приходит к выводу о равенстве причины и следствия. Хотя принцип *causa aequat effectum* (причина равна действию) был высказан еще в глубокой древности, Гегель впервые дает диалектическую его трактовку, интуитивно обращая к понятию образа, отображения.

В. И. Ленин выписывает в «Философских тетрадах» положение Гегеля о том, что «действие не может быть больше чем причина; ибо действие есть не что иное, как проявление причины». «Действие, — пишет Гегель, — не содержит... вообще ничего, что не содержится в причине»... и наоборот, — завершает эту мысль В. И. Ленин, подчеркивая последний момент³. Добавление Ленина очень важно. Теперь мы можем сказать, что соотношение причины и действия удовлетворяет всем признакам

¹ Гегель. Соч., т. I. М.—Л., 1929, стр. 246.

² «Философская энциклопедия», т. 4, стр. 372.

³ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 143. Энгельс отмечал, что если Гегель рассматривает «причину и действие как тождественные, то это теперь доказано в смене форм материи, где равнозначность их доказывается математически» (К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 595).

отношения эквивалентности: оно рефлексивно (причина и следствие всегда равны самим себе), симметрично (причина равна действию и наоборот) и транзитивно (это последнее обстоятельство обуславливает образование «цепей причинения», раскрывающих один из важнейших аспектов единства мира).

В основе эквивалентности причины и следствия, сохранения причины в своем действии лежит «субстанциальный» характер отношений каузальности — «шестивие субстанции через причинность» (Гегель), т. е. движение материи. Характеризуя взаимосвязь категорий субстанции и причинности, В. И. Ленин пишет: «Отношение субстанциальности переходит в отношение каузальности» и приводит слова Гегеля: «Субстанция обладает... действительностью лишь как причина». Далее Ленин развивает свою мысль: «С одной стороны, надо углубить познание материи до познания (до понятия) субстанции, чтобы найти причины явлений. С другой стороны, действительное познание причины есть углубление познания от внешности явлений к субстанции»¹. Как видим, понятие причинности тесно связано с понятиями субстанции, сохранения, отражения.

Глубокая диалектическая идея о связи субстанции, причинности и сохранения возникла еще у древних мыслителей и отличалась позднее в форму принципа *causa aequat effectum*. На это положение сознательно опирались естествоиспытатели, формулируя законы сохранения. Так, Роберт Майер непосредственно связывал закон сохранения энергии с принципом равенства причины и действия. В эпоху господства механистического мировоззрения причинность сводилась к фундаментальным законам физики, а именно ко второму закону динамики Ньютона, и в соответствии с этим эквивалентность причины и действия понималась как равенство (пропорциональность) силы и ускорения.

Утверждение о равенстве причины и следствия тесно связано с логическими основаниями самих принципов детерминизма. Так, принцип строго каузального детерминизма, согласно которому причины и следствия всех событий могут быть обнаружены (существуют) в любое время, логически основывается на принципе: «истинное однажды истинно во все времена»². Это последнее утверждение можно выразить как инвариантность значения истинности относительно сдвигов во времени. Но что же имеется здесь в виду — какое свойство каузальных связей имплицитно подразумевается? Очевидно, этим

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 142—143.

² См. А. А. Ивин. О логическом анализе принципов детерминизма. «Вопр. филос.», 1969, № 10, стр. 93—94.

инвариантом является равенство причины и ее действия, иначе мы не получим той симметричной модели принципа детерминизма, о которой в данном случае ведет речь автор статьи. Менее строгий принцип детерминизма, логическая структура которого может быть выражена утверждением: «истинное однажды истинно только в некоторые времена», также исходит из равенства причины и следствия (поскольку модель детерминации остается симметричной), но при этом предполагает, что сама каузальная связь иногда «отключается». Наконец, слабый принцип детерминизма допускает нарушение равенства причины и следствия, поэтому мы имеем здесь несимметричную модель детерминации.

Структуру каузальных отношений символически можно выразить так:

$$C \leq E, \quad (11)$$

где C — причина (*causa*), E — действие (*effectus*). В такой записи вполне адекватно отражаются характерные особенности каузальных отношений: (а) эквивалентность причины и действия ($C=E$) и (б) необратимость причинных связей ($C < E$). При этом отношения (а) и (б) реализуются одновременно. (По своей форме ситуация здесь аналогична соотношению материи и сознания, операнда и его образа.) Причина и действие образуют упорядоченную пару: причина всегда предшествует своему действию. Структура каузальных отношений непосредственно выступает как структура порядка, поэтому причинность можно рассматривать как вид упорядоченности. Мир каузальных отношений есть подмножество в множестве отношений бесконечного упорядоченного мира, причем эти бесконечные множества эквивалентны (равномощны).

Мысль о возможности выразить причинность через категорию упорядоченности была высказана В. И. Лениным. Он рассматривал понятия закономерности, причинности, порядка, закона, необходимости и т. п. как однопорядковые. Разбирая взгляды Фейербаха по этому вопросу, Ленин подчеркивал, что «Фейербах признает объективную закономерность в природе, объективную причинность, отражаемую лишь приблизительно верно человеческими представлениями о порядке, законе и проч.»¹. Причинность относится к числу самых фундаментальных форм упорядоченности в окружающем мире.

Однопорядковость категорий: субстанция, причинность, сохранение, закон и т. п. определяет характер соотношения при-

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 159.

чинности и принципов (законов) сохранения. Законы сохранения, известные в естествознании, в конечном счете выражают сохраняемость материи и движения, а потому они не требуют причинного объяснения. Здесь вполне применимо Спинозовское положение *natura est causa sui*. Субстанция вместе с присущими ей атрибутами и законами существует сама по себе и в этом смысле вообще не требует никакого «объяснения». С другой стороны, нельзя сводить причинные связи к тем или иным конкретным законам естествознания. Вообще, ни один закон, установленный в науке, не может противоречить принципу причинности. Некоторые фундаментальные законы рассматриваются как конкретные модели причинных связей на том или ином уровне организации материи, как, например, второй закон Ньютона в области механического движения. При этом во всех случаях законы сохранения служат основой причинного описания явлений, поскольку они входят в структуру любой физической теории.

6. Соотношение философских и естественнонаучных представлений о сохранении

Характерной чертой старого, домарковского материализма была неразвитость его основных, исходных понятий, недостаточная сила абстракции. Хотя философия пыталась стать «над» конкретными науками, на деле она растворялась в них, если натурфилософские спекуляции не уводили ее вообще в сторону от изучения реальных связей и отношений.

В течение столетий философские представления о материи и ее свойствах, о движении, сохранении и т. п. отождествлялись с соответствующими физическими (и химическими) представлениями, которые господствовали в тот или иной период. Естествознание было «натуральной философией» (вспомним название основного труда Ньютона: «Математические начала натуральной философии»), а философия природы — просто учением о природе (основной труд Гольбаха — «Система природы или о законах мира физического и мира духовного»). В этом была сила философии и в этом же — ее слабость: сила, потому что философия опиралась на достижения конкретных наук; слабость, ибо философия не могла подняться выше естествознания в области научных абстракций, философ послушно шел за естествоиспытателем. Даже в тех нередких случаях, когда натурфилософская мысль выдвигала фундаментальные идеи обобщающего характера (атомизм, относительность движения, несотворимость и

неуничтожимость материи и т. п.), эти идеи «приземлялись» до уровня естественнонаучных представлений соответствующей эпохи.

Такая форма «союза» философии и естествознания была исторически необходимой. Напомним, что в самом естествознании обобщающие теории стали выдвигаться лишь к середине XIX века, и именно это обстоятельство послужило одной из причин возникновения диалектического материализма, т. е. перехода философской мысли на более высокий уровень научной абстракции, способный более глубоко отобразить общие закономерности окружающего мира. В конце XIX — начале XX века непосредственно обнаружилось, что эта классическая форма союза философии и естествознания себя изжила. Философ, следуя за естествоиспытателем, пришел к выводу об «исчезновении материи», ибо в тот период была установлена сложность строения атомов, зависимость массы от скорости и т. п., а философ и естествоиспытатель по-прежнему считали материю совокупностью неизменных атомов. Надо было разграничить философские понятия о материи, движении, их сохранении и т. п., с одной стороны, и соответствующие естественнонаучные представления, с другой.

Надо было показать, что мы имеем дело с двумя различными уровнями познания мира, уровнями абстракции, которые в то же время тесно связаны друг с другом. Эту проблему впервые поставил В. И. Ленин в «Материализме и эмпириокритицизме» и наметил пути ее разрешения.

При анализе свойств сохранения необходимо различать три момента: 1) философские представления о сохранении; 2) естественнонаучные представления о сохранении и 3) соотношение этих двух уровней познания свойств сохранения.

Действительно, естествознанию известны законы сохранения массы, энергии, импульса и других физических величин; в то же время мы говорим о сохранении материи, движения и т. п. и при этом ссылаемся на известные нам законы сохранения. Но ведь в первом случае перед нами набор физических величин, а в другом — ряд философских категорий. Масса не есть материя; «энергия» и «движение» — это не одно и то же и т. д. Налицо два различных уровня познания, два языка, две системы понятий со своими внутренними связями, даже со своей логикой¹. Задача состоит в том, чтобы показать, как отобража-

¹ Современная физика требует для адекватного выражения своих основных идей некоторых новых логических принципов (см. Б. Г. Кузнецов. Физика и логика. М., 1964).

ется один из этих уровней на другой, показать, что при таких переходах существуют инварианты, которые и дают нам право говорить о принципе сохранения вообще.

Для натурфилософии этой проблемы не существовало. Масса, например, рассматривалась как мера «количества материи», содержащегося в данном теле; отсюда следовало, что закон сохранения массы является законом сохранения материи. Подобные взгляды, обладающие силой давней традиции, удержались до наших дней; их можно еще встретить как в физической, так и в философской литературе².

Нет никакой необходимости разбирать эти реликтовые концепции. Несостоятельность их в физическом и философском отношениях очевидна. Связь философских и естественнонаучных представлений о сохранении оказывается значительно сложнее, глубже, диалектичнее.

Прежде всего, необходимо четко обрисовать ситуацию. С одной стороны, мы имеем ряд физических законов и принципов сохранения. С другой, на уровне философских категорий мы говорим о сохранении, неуничтожимости, несотворимости материи и т. п. Но, может быть, материя есть «просто» объективная реальность, и мы не имеем никаких оснований наделять ее атрибутом сохранения? Может быть, не имеет смысла говорить о сохранении материи, а только о сохранении вещества, частиц, массы, энергии, т. е. физических (телесных) видов материи и их свойств? Ведь «материя» — это абстракция, а законы сохранения имеют дело с конкретными величинами.

Материализм всегда — явно или неявно — наделял материю атрибутом сохранения. Материя, лишенная своих атрибутов, утрачивает связи с научным познанием, с человеком, который раскрывает свойства материи, вступая в контакт с природой. «... Природа, взятая абстрактно, изолированно, фиксированная в оторванности от человека, — писал К. Маркс, — есть для человека ничто»².

Понятие материи как философскую абстракцию нельзя смешивать с естественнонаучными представлениями о материи, ее структуре и свойствах, но совершенно недопустимо также отрывать одно от другого. Материя есть и абстракция, и реальность. Ф. Энгельс указывал, что «материю как таковую и движение как таковое никто еще не видел и не испытал каким-нибудь иным

¹ См., напр.: Г. П. Мальковский. О массе и энергии в современной физике. Изд-во Казанского ун-та, 1961; В. И. Тычина. Количество материи и его мера. Фрунзе, 1962; Ф. А. Королев. Курс физики. М., 1962.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Из ранних произведений. М., 1956, стр. 640.

чувственным образом; люди имеют дело только с различными реально существующими веществами и формами движения. Вещество, материя есть не что иное, как совокупность веществ, из которой абстрагировано это понятие; ...такие слова, как «материя» и «движение», суть не более, как сокращения, в которых мы охватываем, сообразно их общим свойствам, множество различных чувственно воспринимаемых вещей. Поэтому материю и движение можно познать лишь путем изучения отдельных веществ и отдельных форм движения; и поскольку мы познаём последние, постольку мы познаём также и материю и движение как таковые»¹.

Принцип сохранения материи является одним из важнейших принципов материалистического мировоззрения. О сохранении материи мы говорим столь же определенно, как и о физических законах сохранения. Однако необходимо проследить, по каким путям проходить наша мысль, связывая физические и философские представления о сохранении, как отображается «физическая реальность» на «объективную реальность». Здесь можно выделить ряд моментов; отметим лишь некоторые из них.

Философское понятие материи, сформулированное В. И. Лениным, будучи абстракцией самого высокого уровня, отражает внешний мир более глубоко, чем традиционное натурфилософское понимание материи как совокупности вещественных тел. Поднимаясь по ступеням абстракции, наше познание не отходит от действительности, а приближается к ней. «Абстракция материи, закона природы, абстракция стоимости и т. д., одним словом, все научные (правильные, серьезные, не вздорные) абстракции отражают природу глубже, вернее, полнее»².

Понятие материи, становясь более абстрактным, не отрывается от всех других представлений об окружающем мире, в частности, от свойств сохранения. Вместе с материей атрибут сохранения также приобретает более общее выражение, не утрачивая связи с реальными физическими и другими процессами. Сохранение на уровне материи как объективной реальности и как субстанции отражает свойства сохранения более глубоко, более фундаментально. Это понятие столь же абстрактно, но и столь же определено, как и само понятие материи. Принцип сохранения материи, который «стягивает» в единое понятие все модификации сохранения, есть «спокойное» отражение материи на себя, отражение в логике понятий — гомоморфное отображение

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 550.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 152.

физических принципов на философский принцип. При этом на всех уровнях сохранение выступает как инвариант изменений.

Наши представления (физические, химические и т. п.) о свойствах сохранения исторически изменчивы, подвижны, относительны, но из этих относительных истин складывается абсолютная истина. Эта абсолютная истина состоит в том, что материя, субстанция обладает атрибутом сохранения. Подчеркнем, что сохранение является атрибутивным свойством объективной реальности. Гносеологическая и логическая ситуация здесь вполне аналогична той, которая сложилась вокруг понятий пространства, времени, материи и т. п. в период борьбы Ленина с махизмом. В. И. Ленин писал: «Человеческие представления о пространстве и времени относительны, но из этих относительных представлений складывается абсолютная истина... Изменчивость человеческих представлений о пространстве и времени так же мало опровергает объективную реальность того и другого, как изменчивость научных знаний о строении и формах движения материи не опровергает объективной реальности внешнего мира.»¹

Подобно тому как понятие материи не связано с каким-либо конкретным учением о строении и свойствах материи (но связано с представлением о структурности материи), так и принцип сохранения не предрешает заранее, **какие** элементы объективной реальности должны сохраняться на том или ином уровне ее познания — вещи, свойства или отношения, какие именно свойства и отношения, если они сохраняются, и т. д. Достаточно того, чтобы в структуру физических и других естественнонаучных теорий входили принципы сохранения. При этом форма проявления самих принципов может быть какой угодно.

Диалектический подход к материи характерен признанием ее неисчерпаемости. «Электрон так же неисчерпаем, как и атом, — писал Ленин, — природа бесконечна, но она бесконечно существует...»² «Вообще бесконечность материи вглубь...»³ Неисчерпаемость материи означает бесконечное многообразие свойств, связей, отношений в окружающем нас мире.

Поскольку сохранение является атрибутивным свойством материи, в ходе познания мы должны встречаться с различными принципами сохранения, соответствующими качественно специфичным уровням организации материи. В микромире мы обнаруживаем «дикивинные», экзотические законы сохранения

¹ В. И. Ленин Полн. собр. соч., т. 18, стр. 181—182.

² Там же, т. 18, стр. 277.

³ Там же, т. 29, стр. 100.

(сохранение четности, странности и т. п.), сильно отличающиеся от законов сохранения классической физики. Принципы сохранения так же неисчерпаемы, как и сама материя, — об этом говорит нам развитие физики и естествознания в целом. Именно здесь раскрывается атрибутивность сохранения, на этой основе складывается единый принцип сохранения как принцип научного познания мира.

До последнего времени на законы (принципы) сохранения смотрели, как правило, чисто онтологически (мы не берем субъективистских концепций). Теперь становится все более ясным их гносеологическое значение — значение как принципов познания. Наконец, вместе с этим раскрывается логическая функция принципов сохранения — их место и роль в логической структуре физических теорий.

Принцип сохранения, который формулируется в философии, не сводится ни к сохранению материи как таковой, ни к совокупности конкретных законов сохранения. Он охватывает различные уровни познания. Его структуру можно представить в виде **таблицы 1** (мы берем только соотношение физической реальности и объективной реальности в плане свойств сохранения).

Движение от эмпирического уровня к абстрактно-философскому есть последовательное углубление в сущность явлений сохранения путем образования все более «сильных» абстракций. Переход от конкретного к абстрактному есть движение мысли к объекту познания. «Мышление, восходя от конкретного к абстрактному, не отходит — если оно правильное... — от истины, а подходит к ней»¹.

Возникающие при этом абстракции образуют систему, ибо они отражают одно и то же явление. Эта система имеет свою структуру — определенное соотношение уровней познания, в основе которого лежит субординация уровней. Только наличие системности в области представлений о сохранении дает нам право говорить о едином принципе сохранения, который охватывает различные уровни познания действительности.

«Физическая реальность» отображается на «объективную реальность» весьма сложным образом. Во-первых, возможны лишь последовательные переходы с «низшего», эмпирического уровня на «высший», самый абстрактный, так что нельзя непосредственно сопоставлять уровни, не граничащие друг с другом. Например, факт эквивалентности теплоты и работы сам по себе еще ничего не говорит о сохранении материи. Во-вторых, нельзя

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 152.

Таблица 1

Объект познания	Уровни познания	Формы актуализации сохранения
Объективная реальность	А. Абстрактно-философский	Сохранение материи
Физическая реальность	В. Фундаментально-теоретический С. Концептуально-регулятивный D. Эмпирический	Принципы инвариантности и симметрии и т. п. Законы сохранения Опытные обоснования законов сохранения

Принципы сохранения

представлять упрощенно переход от физической реальности к объективной реальности: это диалектический (противоречивый, скачкообразный и т. п.) переход с одного уровня абстракции на другой, от одного языка к другому, от системы к метасистеме и т. д.

Оператором отображения выступает здесь сам принцип сохранения, и это важно подчеркнуть. Принцип сохранения не является чем-то внешним по отношению к реальным явлениям, каким-то особым управляющим фактором. В одном отношении принципы выступают как «начало» (начало исследования), в другом — как «результат», но более всего они играют роль «операторов», если движение мысли и ход реальных процессов представить в терминах отображения. В процессе отображения в нашем случае неизменным остается сущность сохранения, ибо на любом уровне познания сохранение выступает как инвариант изменений.

Уровни познания свойств сохранения в рамках физической реальности, указанные в **таблице 1**, в общем соответствуют схеме Е. Вигнера, который выделяет три элемента реальности: события, законы природы и принципы инвариантности¹. Опытные данные о сохранении тех или иных величин относятся к классу событий. Концептуально-регулятивный уровень, на котором формулируются основные физические понятия и соответствующие

¹ См. Е. Вигнер. События, законы природы и принципы инвариантности. УФН, т. 85, вып. 4, 1965, стр. 727.

щие им законы сохранения (например, понятие энергии и закон сохранения энергии) отвечает законам природы в схеме Вигнера. Следуя Вигнеру, который квалифицирует законы как регулярности в явлениях природы, мы называем уровень законов сохранения концептуально-регулятивным. Наконец, принципы инвариантности, особо выделенные Вигнером, относятся к фундаментально-теоретическому уровню. Это уровень физической картины мира, т. е. наиболее общих представлений физики о свойствах материи, движения, пространства, времени и т. п.

Переход от эмпирического к концептуально-регулятивному уровню и далее к фундаментально-теоретическому соответствует историческому развитию знаний в области сохранения. Действительно, вначале, например, были установлены факты сохранения энергии в области термодимии, превращения теплоты в работу и т. п., а затем (и параллельно с этим) сформулированы понятия энергии и закон сохранения энергии. Позднее были установлены различные виды физической инвариантности (релятивистская инвариантность, СРТ-инвариантность), связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени¹.

Фундаментально-теоретический уровень физических знаний в области сохранения непосредственно «граничит» с соответствующими философскими представлениями². Историческая и логическая связь философских и естественнонаучных представлений о сохранении является значительно более сложной, чем соотношение уровней познания свойств сохранения в рамках физической реальности. Философская мысль выдвинула идею сохранения за много столетий до того, как естествознание смогло обосновать экспериментально и теоретически простейшие законы сохранения. Ф. Энгельс указывал на тот факт, что идея о сохранении движения была высказана мыслителями задолго до от-

¹ Принадлежность принципов инвариантности к фундаментально-теоретическому уровню физического знания и определяющая роль этих принципов в структуре физических теорий послужили поводом для смешения идеи инвариантности с понятием физической реальности и даже реальности вообще. «Я убежден, — писал Макс Борн, — что идея инвариантов является ключом к рациональному понятию реальности, и не только в физике, но и в каждом аспекте мира» (М. Борн. Физика в жизни моего поколения, стр. 276). Однако объективно реальные и просто реальные (в смысле физической реальности) не только инвариантные вещи, свойства или отношения, но и любые явления, имеющие место в действительности.

² О соотношении физической картины мира с физическими теориями и с философией см.: М. В. Мостепаненко. Философия и физическая теория. Л., 1969.

крытия закона сохранения энергии. «Положения, установленные в философии уже сотни лет тому назад, положения, с которыми в философии давно уже покончили, часто выступают у теоретизирующих естествоиспытателей в качестве самоновейших истин, становясь на время даже предметом моды. Когда механическая теория теплоты привела новые доказательства в подтверждение положения о сохранении энергии и снова выдвинула его на передний план, то это несомненно было огромным ее успехом; но могло ли бы это положение фигурировать в качестве чего-то столь абсолютно нового, если бы господа физики вспомнили, что оно было выдвинуто уже Декартом?»¹

Здесь Энгельс имеет в виду положение Декарта о количественном сохранении движения.

Ф. Энгельс указывал на методологическое значение идеи сохранения для теоретического естествознания. Он писал, что «последовательность мысли во все времена должна была помогать недостаточным еще знаниям двигаться дальше. Современное естествознание вынуждено было заимствовать у философии положение о неуничтожимости движения; без этого положения естествознание теперь не может уже существовать»². Естествоиспытатели опирались на общие представления о сохранении, причинности и т. п., но при этом смешивали физические и философские понятия. Так, эмпирический факт сохранения веса вещества расценивался как непосредственное выражение неуничтожимости материи, закон сохранения энергии отождествлялся с сохранением движения вообще и т. п. Не было еще представления об уровнях познания, о соотношении этих уровней в области сохранения и вообще в познании природы, а потому действительные связи упрощались, мысль двигалась по «запрещенным» переходам, например, сразу от эмпирических данных к философским принципам.

Сами по себе, вне связи с конкретными науками, философские представления еще не могут стать принципами познания: они слишком абстрактны, неопределенны. Идея сохранения при всей ее фундаментальности без связи с естествознанием остается чистой абстракцией.

Только отображение этой идеи на реальность, установление законов сохранения в естествознании делает идею сохранения содержательной и превращает ее тем самым в один из принципов познания действительности. «Begriff еще не высшее понятие:

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 367.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 360.

еще выше идея = единство Begriff'a с реальностью». ¹ Абстрактно-философский подход к сохранению придает идее сохранения чрезвычайную общность, а естественнонаучный подход — глубокую содержательность.

Мы можем рассматривать законы сохранения как набор физических моделей сохранения. При этом ни одна из таких моделей, вообще говоря, не стоит «ближе» к сохранению материи, субстанции, чем другая, ибо все они моделируют не сохранение субстанции непосредственно, а физическое сохранение, которое вместе со всеми другими видами сохранения выражает атрибутивность сохранения. Последнее же означает, что сохранение является атрибутом некоторой субстанции, а субстанцией мира не может быть ничто кроме материи.

Принцип сохранения, охватывающий различные уровни познания действительности, вполне аналогичен в этом отношении другим фундаментальным принципам — принципу единства мира, принципу причинности и т. п. Во всех этих случаях необходимо различать уровень философских положений и уровень конкретно-научных представлений; в то же время надо видеть внутреннюю связь уровней познания, движение мысли от одного уровня к другому. К развитию идеи сохранения вполне применимы слова Ф. Энгельса, характеризующие единство мира, и мы можем сказать, что идея сохранения «доказывается... длинным и трудным развитием философии и естествознания». ¹

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 151 (Begriff — понятие).

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

II

ПРИНЦИПЫ СОХРАНЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

Абстрактно-философский анализ проблемы сохранения мы будем считать завершенным; теперь можно переходить ко второй части нашего исследования — рассмотрению конкретных принципов сохранения в различных областях естествознания. Конечно, деление на «общетеоретическую» часть и «приложения» в данной работе достаточно условно: чтобы выразить в общем виде сущность сохранения как инварианта изменений, необходимо было опираться на конкретный материал из различных областей знания; с другой стороны, анализ конкретных принципов сохранения потребует дальнейшего развития теории вопроса.

Мы увидим, что принципы сохранения в том или ином виде входят в структуру любой естественнонаучной теории. Следует отметить, что в имеющейся литературе до сих пор систематически рассматривались лишь физические принципы сохранения — законы сохранения, принципы инвариантности и симметрии. Что касается других областей естествознания, то специально принципы сохранения в них не исследовались ни в конкретно научном, ни в философском аспектах. В различных источниках можно найти лишь отдельные разрозненные положения, мысли, замечания.

Ниже мы рассмотрим в самой сжатой форме физические принципы сохранения и попытаемся наметить основные направления исследования принципов сохранения в химии, биологии и кибернетике. Поскольку речь пойдет о законах и закономерностях сохранения, то мы вначале рассмотрим саму категорию закона как наиболее глубокое выражение сохраняемости отношений, в результате чего подойдем к выяснению специфики законов сохранения.

1. Закон как сохранение отношений. Законы сохранения

В структуре наших знаний о мире исключительная роль принадлежит законам. Если понятия дают нам знание отдельных сторон, моментов действительности, то законы отражают существенные связи и отношения окружающего нас мира. Построение научной картины мира основывается прежде всего на знании законов природы, закономерностей бытия и познания. По отношению к самому научному знанию законы выступают как основной способ его организации, упорядочения, систематизации и т. п. Это естественно, ибо мы вообще сближаем категории закона и упорядоченности. Из этого сближения следует также, что законы не просто объективны по своему содержанию; закономерность является неотъемлемым, атрибутивным свойством материи, поскольку мы ее рассматриваем как наиболее выраженную форму упорядоченности.

Переходя от понятий к законам, мы сталкиваемся с новой, более фундаментальной формой устойчивости, сохранения, инвариантности. Понятия фиксируют отдельные относительно неподвижные точки на «карте мира»; законы отражают устойчивые, сохраняющиеся отношения. Именно отношения оказываются наиболее «прочным» элементом действительности.

По характеристике В. И. Ленина, «понятие закона есть одна из ступеней познания человеком единства и связи, взаимозависимости и цельности мирового процесса»¹. Ленин выступает здесь против абсолютизации законов, определяет основные гносеологические подходы к категории закона. Однако в понятии закона есть момент абсолютности. Закон выражает всеобщее, родовое в явлениях; он действует всегда и везде, поскольку имеется налицо соответствующая ситуация; в этом смысле область существования любого закона бесконечна. «Форма всеобщности в природе, — писал Ф. Энгельс, — это закон... Всякое истинное познание природы есть познание вечного, бесконечного, и поэтому оно по существу абсолютно»².

Энгельс подчеркивал, что всякое действительное, исчерпывающее в данном отношении познание заключается в том, что мы в мыслях поднимаем единичное до уровня всеобщего, находим бесконечное в конечном, вечное в преходящем. «Но форма всеобщности есть форма внутренней завершенности и тем самым бесконечности; она есть соединение многих конечных вещей в

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 135.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., том 20, стр. 549.

бесконечное»¹. Закон выражает родовой признак предметов и явлений: «родовое понятие есть «сущность природы», есть закон...»²

Категория закона является однопорядковой с категориями сущности, необходимости и т. п. Закон выражает внутренние, необходимые, существенные связи и отношения. К. Маркс характеризовал закон как «внутреннюю и необходимую связь между двумя явлениями...»³. Все законы формулируются на уровне сущностей, они дают нам сущностную картину мира. «Закон есть существенное явление». «Закон есть отражение существенного в движении универсума.» «Закон есть отношение... Отношение сущностей или между сущностями»⁴. Если в структуре объективной реальности выделять вещи, свойства и отношения, то областью существования законов являются именно отношения как наиболее устойчивый элемент этой реальности.

Как существенное отношение, закон есть нечто устойчивое, постоянно пребывающее, «субстанциальное» в явлениях и процессах. Гегель следующим образом характеризует данную сторону закона: «Эта сохраняющаяся устойчивость, которой явление обладает в законе»; «Закон есть рефлексия явления в тождество с собой», «отражение явления в идентичность его с самим собой»; «Это тождество, основа явления, образующая закон, есть собственный момент явления»; «царство законов есть спокойное отображение существующего или являющегося мира.»⁵ В этой связи В. И. Ленин отмечает: «Закон есть прочное (остающееся) в явлении»; «Закон — идентичное в явлении»; «Закон=спокойное отражение явлений...»⁶. Заметим, что и Гегель, и Ленин раскрывают сущность закона в терминах отображения: закон есть «спокойное» отображение явлений и процессов на себя, есть момент тождества данного явления с самим собой.

Итак, законы — это не что иное, как сохраняющиеся существенные отношения, характерные для той или иной области действительности. В общей картине мира мы можем рассматривать законы как «формы проявления одного и того же универсального движения...»⁷ Таким образом, законы выражают, по крайней мере в качественном плане, сохраняемость движения.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 548—549.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 240.

³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 25, ч. 1, стр. 246.

⁴ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 136, 137, 138.

⁵ Цит. по кн.: В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 136.

⁶ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 136.

⁷ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 553—554.

В самом широком смысле можно сказать, что любой закон есть «закон сохранения», ибо он фиксирует устойчивые, сохраняющиеся связи и отношения.

Подчеркнем, что закон — не просто сущность явления, но его «идеализированная сущность», поскольку закон формулируется всегда для некоторой идеальной ситуации, в которой только и можно выделить основные, определяющие связи и отношения, пренебрегая различными несущественными, возмущающими факторами. Норберт Винер писал: «В идеале закон должен описывать свойство рассматриваемой системы, остающееся всегда тем же самым в потоке частных событий. В простейшем случае берется свойство, **инвариантное** относительно множества **преобразований**, которым подвергается система»¹. Закон можно рассматривать как инвариант определенных преобразований: закон есть инвариант всех отображений данного явления на самое себя.

Однако не только сами законы как таковые сохраняются по своему виду. В структуре законов встречаются величины (или комбинации величин), которые остаются неизменными при соблюдении некоторых условий. Существует особый класс законов — **законы сохранения**, для которых это последнее обстоятельство является специфичным.

Поскольку мы вообще рассматриваем закономерность как выраженную форму упорядоченности, то каждый закон есть определенный порядковый тип, характерный для той или иной области действительности. Закон раскрывает структуру порядка в данной системе; эта структура (закон) является инвариантом системы. Ричард Фейнман пишет, что «в явлениях природы есть формы и ритмы, недоступные глазу созерцателя, но открытые глазу аналитика. Эти формы и ритмы мы называем физическими законами.»² Здесь почти в явном виде законы природы характеризуются как структуры порядка («формы и ритмы»).

Рассмотрим некоторые простейшие структурные типы законов физики, выражающие различные формы инвариантности отношений:

$F_1 = -F_2$ — третий закон механики Ньютона;

$PV = \text{const}$ — закон Бойля—Мариотта;

$dE = c^2 dm$ — закон взаимосвязи массы и энергии (в дифференциальной форме);

¹ Н. Винер. Кибернетика, М., 1968, стр. 103.

² Р. Фейнман. Характер физических законов. М., 1968, стр. 9.

$\operatorname{div} \mu H = 0$ — одно из уравнений Максвелла для электромагнитного поля;

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ — закон радиоактивного распада (в интегральной форме).

Мы взяли законы из различных областей физики — законы динамические и статистические, законы в дифференциальной и интегральной форме. В структуре этих законов мы находим: (а) постоянные величины: μ , λ ; (б) переменные величины: F , P , V , E , m и др.; (в) константы: c ; (г) знаки математических действий: умножение, возведение в степень, дифференциал и т. п.; (д) наконец, выражение инвариантности некоторых отношений в данной физической системе — равенство, т. е. отношение эквивалентности, записанное в той или иной форме. Заметим, что законы сохранения по своей математической форме ничем не отличаются от обычных законов физики.

Между обычными законами физики и законами сохранения нет резких разграничительных линий. Это не удивительно, ибо закон вообще выражает сохраняемость отношений, и законы сохранения не могут быть ничем иным как особой формой сохранения отношений. Однако между «законами сохранения» и «законами изменения» (как можно назвать все обычные законы физики) есть свои различия.

Прежде всего, отметим, что законы сохранения отличаются от обычных законов своей фундаментальностью. Законы сохранения играют роль физических принципов, поэтому вместе с принципами инвариантности и симметрии мы называем их принципами сохранения. Вся масса физических законов как бы «погружена» в область принципов сохранения.

Физика имеет дело с многообразными законами. «Но все это многообразие отдельных законов пронизано некими общими принципами, которые так или иначе содержатся в каждом законе. Примерами таких принципов могут служить законы сохранения, некоторые свойства симметрии. . .»¹

Различие между законами сохранения и законами изменения естественно искать также в структуре самих законов, относящихся к той и другой группе, поскольку именно структура наиболее глубоко раскрывает особенности объекта познания.

Внутренняя структура закона, его внутренняя симметрия раскрывается путем отображения данного закона на себя. Подобный, структурный, подход к раскрытию существенных признаков объекта — путем преобразования этого объекта в себя —

¹ Р. Фейнман. Характер физических законов, стр. 60.

был предуказан Гегелем, хотя и в чисто качественном виде. «То, что называют существенными признаками, суть покоящиеся определенности, которые в том виде, в каком они выражаются и понимаются в качестве простых определенностей, не показывают того, что составляет их природу — быть исчезающими моментами движения, принимающего себя обратно в себя»¹. Теоретико-групповые методы реализуют эту идею математически.

Любой закон, действующий в той или иной системе, можно рассматривать как изоморфное отображение этой системы на себя, инвариантом которого и является данный закон. Поскольку такое отображение называется автоморфизмом, то законы вообще можно рассматривать как автоморфизмы материальных систем.

В математике изучаются автоморфизмы алгебраических систем². Аналогично можно говорить об автоморфизмах физических систем, понимая под этим группы автоморфизмов, с помощью которых мы выражаем внутреннюю симметрию физических законов, характерных для данной системы. Каждый закон в определенном смысле замыкается на себя, образует замкнутую в себе структуру. Ф. Энгельс отмечал, что «закон о смене форм движения является бесконечным, замыкающимся в себе.»³ Здесь имеется в виду закон сохранения и превращения энергии. Не случайно в логике мы изображаем объем понятия в виде кругов (круги Эйлера); таким же способом можно изобразить и закон как замкнутую в себе область.

Аutomорфизм есть изоморфное отображение множества с данной системой операций на себя. Закон есть динамически инвариантная структура, которая математически выражается системой операций с некоторыми величинами; эти операции сохраняются при всех отображениях данной физической системы на себя. Закон выступает как инвариант автоморфных преобразований физической системы.

Теоретико-групповой подход к физическим закономерностям оказывается очень плодотворным. Он «позволяет записать любой закон физики, не прибегая к содержательному определению понятий, используемых в записи, поскольку все свойства рассматриваемых объектов интересны лишь в той степени, в которой они остаются инвариантными относительно выбранной

¹ Гегель. Соч., т. IV. М., 1959, стр. 134.

² См. Б. И. Плоткин. Группы автоморфизмов алгебраических систем. М., 1966.

³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 552.

группы.»¹ Теоретико-групповые методы широко применяются в самой математике, в физике и других областях знания. Это самый общий подход, который дает возможность раскрыть структурные соотношения, характерные для того или иного объекта (автоморфизмы), внутреннюю симметрию систем (геометрических, алгебраических, физических и др.), инвариантность, относительность и т. п. Все виды инвариантности выражаются на языке теории групп. Так, релятивистская инвариантность законов физики связана с группой Лоренца. Физические законы тождественно преобразуются в себя при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Совокупность таких систем есть метасистема; релятивистскую инвариантность физических законов можно рассматривать как изоморфное отображение этой метасистемы на себя (автоморфизм).

Методы теории групп дают возможность получить необходимые сведения о физической системе на основании свойств симметрии этой системы, не прибегая к решению уравнений движения, характеризующих поведение данной системы (например, уравнений Лагранжа в классической механике). «Теория групп дает возможность классифицировать состояния физической системы на основе только ее свойств симметрии, без решения самих уравнений движения. В этом и состоит ценность метода теории групп, так как известно, что даже приближенное решение уравнений движения часто оказывается весьма трудоемким. Применяя теоретико-групповые методы, мы можем установить свойства симметрии точных решений этих уравнений и тем самым получить важную информацию о физической системе.»² Связь, существующую между категорией закона и категорией симметрии в общем плане отмечает В. С. Готт³.

В рамках теоретико-групповых методов никаких особых переходов от обычных физических законов к законам сохранения нет: и те, и другие являются инвариантами групп преобразований. Но именно в характере этих инвариантов и можно обнаружить специфику законов сохранения. Если закон вообще выступает как динамически-инвариантная структура данной физической системы, то закон сохранения есть не что иное как инвариантность некоторой физической величины относительно всех

¹ Г. А. Соколик. Групповые методы в теории элементарных частиц. М., 1965, стр. 8.

² М. И. Петрашень, Е. Д. Трифонов. Применение теории групп в квантовой механике. М., 1967, стр. 15.

³ См. В. С. Готт. Философские вопросы современной физики. М., 1967, стр. 279.

преобразований, происходящих в системе. В первом случае неизменным остается соотношение динамических переменных, характеризующих состояние системы; во втором сохраняется некоторая величина, не зависящая от эволюции системы. Физики называют законы сохранения динамическими константами, как бы подчеркивая этим их связь с «динамическими инвариантами» (обычными законами физики) и отличие от «статических констант», т. е. обычных констант физики¹.

Поскольку любая сохраняющаяся величина выражает некоторые существенные отношения внутри системы, то законы сохранения также являются сохранением отношений.

Каждый закон имеет свою, внутренне замкнутую, область существования. Для законов сохранения необходимым условием существования является наличие изолированной (замкнутой) системы, выполняющей роль своеобразной «системы отсчета». Чтобы обнаружить действие какого-либо закона сохранения, надо взять соответствующую физическую систему и предоставить ее самой себе. Последнее означает, что, во-первых, данная система не должна быть связана с другими системами, находящимися вне ее (условие внешней, или пространственной, замкнутости); этим в системе исключаются «входы» и «выходы» в экстенсивном отношении. Во-вторых, рассматриваемая система не должна иметь «входов» и «выходов» в интенсивном отношении, которые могли бы повлиять на параметры системы (условие внутренней замкнутости); этим предполагается, что в системе не происходит ничего, кроме известных нам процессов. Первое условие обычно вводится в явном виде, второе же принимается неявно; при этом система именуется изолированной, или замкнутой.

Но указанные выше условия могут быть наложены на систему лишь в абстракции. Действительно, изолированная в абсолютном смысле система была бы подобием «вещи в себе», чем-то непознаваемым, поскольку в этом случае обрываются всякие связи данной системы с другими системами. Сохранение по самой своей сути выступает как инвариант изменений, поэтому действие законов сохранения (а не абстракцию их) можно обнаружить лишь рассматривая физические взаимодействия внутри системы и взаимодействия данной системы с другими сис-

¹ Называя законы динамическими инвариантами, мы лишь подчеркиваем этим, что речь идет о сохранении отношений в системе с изменяющимися параметрами; вообще же можно говорить о динамических и статистических инвариантах сообразно двум типам закономерностей — динамическим и статистическим закономерностям.

темами. Физика имеет дело не с законами сохранения как таковыми, а с законами сохранения и превращения. В. И. Ленин писал: «Вещь в себе вообще есть пустая, безжизненная абстракция. В жизни в движении все и вся бывает как «в себе», так и «для других» в отношении к другому, превращаясь из одного состояния в другое»¹.

Система может оказаться незамкнутой и в интенсивном отношении. Обрыв внешних связей может существенно повлиять на ход внутренних процессов в данной системе, ибо «внешнее есть выражение внутреннего»². У нас никогда не может быть уверенности, что мы учли все «входы» и «выходы» внутри системы. Исторически не раз складывалась такая ситуация, когда абсолютизировались известные формы законов сохранения, не допускалась возможность их дальнейшего обобщения, и на этой основе возникали различные идеалистические концепции. Так, после открытия радиоактивности (неучтенный энергетический «вход» внутри системы) некоторые естествоиспытатели пришли к выводу, что нарушается принцип сохранения энергии.

«Дефект масс» может служить примером «стока» внутри замкнутой системы, если под массой понимать только вещественную массу.

В действительности же каждое «нарушение» известных законов сохранения является указанием на необходимость обобщения (генерализации) данного закона или сужения области его существования (редуцирования). Материя неисчерпаема вглубь, поэтому понятие внутренней замкнутости системы не может быть абсолютным. Само понятие физической системы, в его конкретном содержании, находится на уровне наших представлений о физической реальности. Законы сохранения формулируются обычно в общем виде: такая-то величина сохраняется при **всех изменениях**, происходящих в данной системе, при условии замкнутости этой системы. Но квантор всеобщности («все изменения») выражает здесь вполне конкретные физические процессы, известные в данный момент естествоиспытателям.

Однако абстракция вполне изолированных (замкнутых) систем совершенно необходима в познании свойств сохранения. Все явления, свойства и т. д. познаются через свою противоположность: характер связи раскрывается через понятие изоляции (вообще, несвязи), виды изменчивости — через различные формы

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 97.

² Гегель. Соч., т. IV, стр. 142.

устойчивости, сохранения. Мы фиксируем в абстракции некоторую замкнутую в себе систему и вместе с этим — понятие сохранения как таковое, а затем переходим к реальным системам, конкретным ситуациям, где сохранение всегда выступает как инвариант изменений (превращений, преобразований).

В механике изолированные системы соответствуют инерциальным системам, т. е. таким системам, в которых выполняется закон инерции. Уже в самом определении закона инерции содержится признание эквивалентности понятий «изолированная система» и «инерциальная система». Всякое тело, не взаимодействующее с другими телами, сохраняет свое состояние покоя или равномерно-прямолинейного движения. Иначе говоря, отсутствие взаимодействий эквивалентно инерциальности движения тел, систем. Но в изолированных системах выполняются все законы сохранения; следовательно, понятие инерциальной системы связано с выполнением в ней законов сохранения, а значит, и всех других законов физики, поскольку основу последних образуют законы сохранения. Все инерциальные системы как системы отсчета вполне эквивалентны друг другу; иначе этот факт можно выразить как инвариантность физических законов относительно преобразований, позволяющих переходить от одной инерциальной системы к другой (преобразования Лоренца).

Вопрос о связи изолированных систем, инерциальных систем и инвариантности поставил А. Пуанкаре¹. Он писал, что рассматривать совершенно изолированную систему не имеет смысла, поскольку невозможно наблюдать координаты точек этой системы. Особый интерес для физики представляют почти изолированные системы, которые иначе можно назвать почти инерциальными или просто инерциальными системами. Всякий раз, указывает Пуанкаре, когда мы имеем дело с почти изолированной (инерциальной) системой, обнаруживается факт весьма общего порядка — инвариантность уравнений физики относительно некоторой группы преобразований.

2. Принципы сохранения в современной физике

Для современной физики характерно возрастание роли принципов сохранения в самой структуре физических теорий, установление многих фундаментальных симметрий и принципов ин-

¹ См. «Новые идеи в математике». Сб. третий, СПб, 1913, стр. 27—28.

вариантности¹. Переход от классической физики к современной был непосредственно связан с обобщением известных законов сохранения и открытием ряда новых; именно в этот период была обнаружена глубокая связь симметрии пространства и времени и законов сохранения.

Уже концептуальный анализ симметрии показывает, что симметрия выступает как одно из проявлений сохранения. Симметричная фигура преобразуется в себя, а две симметричные фигуры переходят друг в друга в результате определенных операций симметрии. Во всех случаях симметрии мы имеем инвариант некоторых специфических преобразований, а значит особую форму сохранения.

Изучение симметрии материальных систем подтверждает такой подход к симметрии. Академик А. Е. Ферсман указывал, что «симметрия должна рассматриваться как выражение физических сил устойчивости системы»². Г. Вейль, имея в виду все многообразные формы проявления симметрии правого и левого (зеркальные отражения) в неживой и живой природе, писал, что «симметрия этого рода присуща общей организации природы. ... Для этого должна быть какая-то причина, и ее нетрудно отыскать: состояние равновесия должно быть, по-видимому, симметричным. Точнее говоря, при наличии условий, которые определяют единственное в своем роде состояние — равновесие, к этому состоянию должна приводить симметрия условий»³. Состояние равновесия, симметричное по своей внутренней структуре, неразрывно связано с симметрией условий. Но «равновесие» является здесь эквивалентом сохранения, устойчивости. Таким образом, состояние равновесия, устойчивости системы находит выражение в симметрии самой системы и обусловлено симметрией метасистемы.

Понятия симметрии, инвариантности и относительности, как

¹ См. Н. Ф. Овчинников. Принципы сохранения. М., 1966; Д. А. Франк-Каменецкий. Инвариантность в современной физике. «Природа», 1966, № 10; В. С. Готт. Философские вопросы современной физики. М., 1967, гл. IV—V; «Симметрия, инвариантность, структура (философские очерки)». Под ред. проф. Готта В. С. М., 1967; Д. А. Франк-Каменецкий. Методы современной теоретической физики. В кн. «Материалистическая диалектика и методы естественных наук». М., 1968.

² А. Е. Ферсман. Избр. труды, т. IV. М., 1958, стр. 101. Характеризуя симметрию кристалла, П. М. Зоркий пишет: симметричная структура кристалла «возникает не вопреки, а вследствие стремления к равновесию. Образуя правильную гармоническую постройку, атомы тем самым занимают наиболее устойчивое для данных условий положение». (П. М. Зоркий. Архитектура кристаллов. М., 1968, стр. 12).

³ Г. Вейль. Симметрия, стр. 55.

указывалось выше, тесно связаны друг с другом по своему определению. Эта связь в физическом плане была раскрыта лишь современной физикой.

В XIX столетии была разработана математическая теория инвариантов; ее значение для геометрии показано в Эрлангенской программе Ф. Клейна. Краткий исторический очерк теории инвариантов дает Г. Вейль в своей книге «Классические группы, их инварианты и представления»¹. Вейль указывает, что теория инвариантов стала бурно развиваться под влиянием революционных сдвигов в теоретической физике, которые связаны с теорией относительности и квантовой механикой. Принципы инвариантности входят в структуру современных физических теорий (релятивистские инварианты, адиабатические инварианты, инварианты СРТ-преобразований и т. п.).

Понятие инвариантности широко используется в самых различных областях знания. Это связано с тем, что при изучении различных процессов, систем и т. д. мы всегда имеем дело с инвариантами некоторых преобразований, отображений, а отображение является атрибутом материи. В общем, понятие инвариантности принимает статус категории познания; оно применимо всюду, где необходимо зафиксировать момент сохранения, устойчивости, абсолютности в качественном или количественном отношениях. Саму категорию сохранения мы определяем как инвариант изменений.

• Степень инвариантности физических построений является одним из критериев их адекватности окружающему миру. По мере развития физической мысли мы обнаруживаем в структуре теории все более фундаментальные инварианты. Можно сделать общий вывод о том, что «эволюция физической картины мира состоит в расширении фундаментальной группы, т. е. переходе к группам с большим числом инвариантов»². В этом можно убедиться, если рассмотреть переходы от классической механики к теории относительности.

В основе специальной теории относительности (СТО), созданной А. Эйнштейном, лежат два принципа (постулата), являющихся обобщением опытных данных:

1. Принцип относительности.
2. Принцип постоянства скорости света³.

¹ См. Г. Вейль. Классические группы, их инварианты и представления, стр. 45—48.

² Г. А. Соколик. Групповые методы в теории элементарных частиц, стр. 11.

³ См. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. 1, М., 1965, стр. 10.

Принцип относительности в теории Эйнштейна является обобщением механического принципа относительности, сформулированного Галилеем. Согласно обобщенному принципу относительности, все физические процессы, а не только механические, протекают в инерциальных системах (т. е. системах, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно) совершенно одинаково. В этом смысле все инерциальные системы эквивалентны друг другу, а множество инерциальных систем симметрично относительно подстановок. Принцип постоянства скорости света означает независимость скорости света от движения источника.

Классический (механический) принцип относительности является в то же время «принципом абсолютности», ибо он показывает инвариантность законов механики относительно преобразований Галилея, с помощью которых в классической механике осуществляется переход от одной инерциальной системы отсчета к другой. Группа Галилея оставляет неизменными расстояния в трехмерном пространстве. В теории относительности группе Галилея соответствует группа Лоренца¹. Пространственные характеристики тел и время в СТО являются относительными, но их четырехмерная связь абсолютна. Фундаментальным инвариантом группы Лоренца является четырехмерный пространственно-временной интервал — «расстояние» между двумя событиями, каждое из которых характеризуется тремя пространственными координатами и одной временной:

$$S^2 = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2, \quad (13)$$

где S — «расстояние» в четырехмерном пространстве—времени;

X_1, X_2, X_3, X_4 — «проекции» 4-интервала на три пространственные оси и ось времени.

Все законы физики должны удовлетворять требованию релятивистской инвариантности, т. е. должны быть инвариантными относительно преобразований Лоренца. Положение о том, что закон есть сохранение отношений, приобретает здесь конкретный физический смысл: законы физики, сформулированные соответствующим образом, не меняют своего вида при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. В теории относительности раскрывается тесная связь физических представлений об относительности и инвариантности. СТО является столько

¹ Общая характеристика преобразований Галилея и Лоренца дана в кн.: А. С. Колпаец. Теоретическая физика. М., 1957, стр. 62—63, 183—184.

же «теорией относительности», сколько и «теорией абсолютности». Это хорошо понимал сам Эйнштейн. Ф. Клейн говорил, что термин относительность, которым пользуются в физике, следует заменить термином инвариантность по отношению к некоторой группе¹.

Развитие физических знаний идет по пути раскрытия все новых и новых форм движения; при этом мы более глубоко познаем как формы изменчивости, так и формы устойчивости, инвариантности, сохранения. В относительном всегда есть абсолютное: одно познается через другое. Эти закономерности познания в теоретико-групповом плане проявляются в том, что по мере развития физических представлений мы переходим к более фундаментальным группам преобразований и их инвариантам, выделяющим структуру физической теории. Группа Лоренца является более «богатой» по сравнению с группой Галилея; соответственно этому обогащается вся физическая картина мира.

В период революции в естествознании конца XIX — начала XX вв. существенное изменение претерпели классические понятия массы, энергии, импульса и момента импульса и соответствующие им принципы сохранения. Понятия массы, импульса и момента были распространены на электромагнитное поле². Тем самым обобщались и законы сохранения этих величин. Из основных постулатов теории относительности следовало уравнение:

$$E = mc^2, \quad (13)$$

где E — полная энергия;
 m — полная масса;
 c — скорость света в вакууме.

Это соотношение называют законом взаимосвязи массы и энергии. Сущность его состоит в том, что любой физический объект характеризуется одновременно и массой, и энергией того или иного вида, численные значения которых пропорциональны друг другу. (При $c=1$ уравнение принимает вид: $E=m$.) Поскольку масса и энергия — величины сохраняющиеся, то соотношение $E=mc^2$ связывает воедино два фундаментальных закона сохранения — закон сохранения массы и закон сохранения энергии, которые, однако, не утрачивают вследствие этого своей самостоятельности. Мы имеем здесь своеобразную «конвергенцию» двух законов сохранения.

¹ См. сб. «Вариационные принципы механики». М., 1959, стр. 630.

² См. М. Лауэ. Инерция и энергия. УФН, т. 67, вып. 4, 1959; М. Джеммер. Понятие массы в классической и современной физике. М., 1967.

«Специальная теория относительности также показывает, что должна существовать далеко идущая аналогия: три пространственные координаты и время образуют 4-вектор точно таким же образом, как три пространственных импульса и энергия»¹. Здесь обнаруживается глубокая внутренняя связь двух физических мер движения — скалярной (энергия) и векторной (импульс). Если каждая из этих величин, взятых порознь, релятивистски инвариантна, то сложная величина «энергия—импульс» является инвариантом преобразований Лоренца, так же как и 4-интервал в пространстве—времени. Энергия—импульс является сохраняющейся величиной, так что мы можем говорить о законе сохранения энергии—импульса. Закон сохранения энергии—импульса можно рассматривать как обобщение закона взаимосвязи массы и энергии. В общем этот закон как бы «стягивает» в один пучок три закона сохранения — энергии, импульса и массы.

Следующий важный этап в развитии принципов сохранения составляют работы Э. Нетер. В 1918 г. Э. Нетер установила связь между свойствами симметрии пространства и времени (однородность, изотропность) и законами сохранения. Однородность и изотропность пространства, однородность времени лежат в основе физической картины мира, характерной для классического естествознания. Те же свойства симметрии присущи четырехмерному пространству—времени специальной теории относительности.

Основываясь на объединении вариационного исчисления и методов теории групп Ли, Э. Нетер дала общий алгоритм, позволяющий найти полную систему инвариантов любой физической теории, которую можно выразить в терминах лагранжева или гамильтонова формализма².

Согласно теореме Нетер, каждому свойству пространства и времени, выражающемуся в ковариантности уравнений относительно некоторой группы преобразований, соответствует особый закон сохранения. Инвариантности лагранжевой функции относительно смещений начала отсчета в пространстве (однородности пространства) соответствует закон сохранения импульса. Инвариантности относительно смещений начала отсчета времени (однородности времени) отвечает закон сохранения энергии.

¹ И. фон Нейман. Математические основы квантовой механики. М., 1964, стр. 262.

² См. работы Э. Нетер. «Инварианты любых дифференциальных выражений» и «Инвариантные вариационные задачи» в сб. «Вариационные принципы механики», стр. 604—630.

Инвариантности относительно пространственных поворотов (изотропности пространства) соответствует закон сохранения момента импульса. Инвариантность относительно преобразований Лоренца («вращений» в пространстве—времени) приводит к обобщенному закону сохранения движения центра тяжести системы.

Таким образом, в четырехмерном пространстве—времени имеется всего, с учетом векторного характера величин, **десять фундаментальных законов сохранения**¹.

Хотя алгоритм Нетер применим только к непрерывным преобразованиям, можно сказать, что теорема Нетер лежит в основе методов современной теоретической физики. В этой теореме принципы Эрлангенской программы Клейна применяются к классификации законов сохранения (в терминах которых можно выразить все физические закономерности) по группам Ли.

Теоремой Нетер поставлены во взаимно однозначное соответствие свойства симметрии пространства и времени, с одной стороны, и законы сохранения, с другой. Такое соответствие означает, что каждая из этих сторон может рассматриваться как «следствие» другой. Симметрия пространства и времени проявляется физически именно в том, что существуют особые, сохраняющиеся величины. «Классические законы сохранения импульса и момента, — пишет Э. Ферми, — связаны со свойствами симметрии физического пространства... Обратное, из наличия законов сохранения можно сделать заключение о свойствах симметрии системы»². То же самое можно сказать о других законах из группы «нетеровских» законов сохранения.

Теперь понятно, почему 4-вектор «энергия—импульс» оказывается аналогичным пространственно-временному интервалу: структура сохраняющейся величины (энергия—импульс) изоморфна структуре пространства—времени. Подчеркнем, что вообще структура сохраняющихся величин может быть сопоставлена соответствующим свойствам симметрии, которые выражаются на теоретико-групповом языке. Это относится не только к «нетеровским» законам сохранения, но и к другим законам сохранения, с которыми имеет дело современная физика.

Однако симметрия пространства—времени не может объяснить всех принципов сохранения, известных в настоящее время. Физика микромира все более переходит к новым типам симметрии — к рассмотрению внутренней симметрии элементарных частиц, симметрии взаимодействий, которым (симметриям) соответ-

¹ См. В. Гейзенберг. Теория атомного ядра. М., 1953, стр. 9.

² Э. Ферми. Квантовая механика. М., 1965, стр. 175.

ствуют свои законы сохранения. В структуру физической теории входят абстрактные пространства (изотопическое пространство, унитарное пространство); свойства симметрии этих пространств соответствуют специфическим законам сохранения. Возникает задача синтеза различных пространственных представлений — «обычного» пространства—времени и абстрактных физических пространств¹.

Одним из возможных путей в решении этой задачи является перспектива развития не-нетеровской структуры физической теории. Как пишут Ю. Б. Румер и Н. Ф. Овчинников, «не исключена возможность такого обобщения пространства и времени, в результате которого они станут рассматриваться как проявления более общих структурных отношений природы. В этом случае потребуются найти инварианты, более общие и более глубокие по сравнению с известными ранее. Структура физической теории может принять антинетеровый характер, но, разумеется, не в смысле отрицания значимости теоремы Нетер, а в том смысле, что в основу теории будут положены фундаментальные инварианты, из которых можно будет вывести свойства симметрии пространства и времени или свойства симметрии соответствующих пространственно-подобных структур»².

Преобразования пространства—времени, с которыми имеет дело теорема Нетер (трансляции и повороты), относятся к классу непрерывных преобразований. Однородность и изотропность пространства приводят к право-левой симметрии пространства, следствием чего является инвариантность законов природы по отношению к инверсии (обращению) координат. Инверсия координат и инверсия времени, т. е. их зеркальные отражения, принадлежат к классу дискретных преобразований. В классической физике инвариантность законов по отношению к инверсии координат не связана с каким-либо законом сохранения, тогда как в квантовой физике она приводит к закону сохранения четности квантового состояния.

Четность квантово-механической системы (волновой функции) может принимать только два значения: $+1$ и -1 . Сущность закона сохранения четности состоит в том, что если состояние замкнутой системы обладает определенной четностью, то эта четность сохраняется со временем. Математически данный закон

¹ О попытках объединения пространственно-временной симметрии и внутренней симметрии см., напр., в кн.: «Структура и формы материи». М., 1967, стр. 225—228.

² Ю. Б. Румер, Н. Ф. Овчинников. Пространство—время, энергия—импульс в структуре физической теории. «Вопр. филос.», 1968, № 4, стр. 92.

можно выразить как инвариантность функции Гамильтона, описывающей состояние системы, по отношению к инверсии координат и представить в виде:

$$\hat{H} \hat{I} - \hat{I} \hat{H} = 0, \quad (14)$$

где \hat{H} — гамильтониан;

\hat{I} — оператор инверсии¹.

Поскольку общие уравнения квантовой механики симметричны относительно инверсии координат, любой переход с изменением четности строго запрещен.

Однако операция пространственной инверсии коммутирует лишь с гамильтонианами сильных взаимодействий, не сохраняясь в слабых взаимодействиях. Как показали опыты, K -мезоны в одних случаях распадаются на два, а в других — на три π -мезона; это означает, что K -частица переходит то в четное, то в нечетное состояние. Одному из таких переходов должен был бы воспрепятствовать закон сохранения четности.

Разрешая эту проблемную ситуацию, Ли и Янг сделали радикальные выводы². Нельзя считать симметрию относительно инверсии координат неизменным свойством самого пространства; это лишь симметрия известного класса взаимодействий. Четность сохраняется при ядерном и электромагнитном взаимодействиях, но не сохраняется при слабом взаимодействии. Выводы Ли и Янга получили экспериментальное подтверждение. Опыты с поляризованными β -радиоактивными ядрами обнаружили большую асимметрию в вылете электронов³. Это показывает, что слабые взаимодействия не симметричны относительно инверсии координат.

Однако естествоиспытатели не могли примириться с представлением об асимметрии пространства; они не могли также допустить *ad hoc* и асимметрии слабых взаимодействий. Проблема была решена за счет рассмотрения более сложных симметрий и соответствующего им закона сохранения. Академик Л. Д. Ландау и независимо от него Ли и Янг предположили, что слабые взаимодействия симметричны относительно комбинированного преобразования — операции инверсии координат и операции зарядового сопряжения, т. е. замены частицы соот-

¹ См. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Квантовая механика. М., 1963, стр. 123—124.

² См. сб.: «Новые свойства симметрии элементарных частиц». М., 1957, стр. 13.

³ См. там же, стр. 69.

ветствующей ей античастицей. Иначе говоря, должен существовать закон сохранения комбинированной четности, более общий, чем закон сохранения пространственной четности¹. В результате тонких опытов по β -распаду удалось подтвердить предположение о сохранении комбинированной четности с точностью до 10%. Следует отметить, что идея комбинированной инверсии опирается на понятие обобщенной симметрии.

За последнее время обнаружено нарушение закона сохранения комбинированной четности. Это ведет к далеко идущим последствиям во всей теоретической физике. Чтобы ясно представить себе сложившуюся ситуацию, необходимо перейти на теоретико-групповой язык. В физике элементарных частиц имеется фундаментальная теорема, которая связывает между собой три вида преобразований:

- а) зарядовое сопряжение (обозначается буквой C);
- б) инверсию координат (P);
- в) инверсию (обращение знака) времени (T).

Это теорема Людерса—Паули, которую сокращенно называют СРТ-теоремой. Операция зарядового сопряжения (лучше было бы говорить: античастичное сопряжение) выражает инвариантность физических законов относительно замены в данной системе частиц на античастицы. Законы физики должны быть также инвариантны относительно инверсии координат и инверсии времени. Инвариантность физических процессов относительно операций C , P и T кратко именуется как СРТ-инвариантность. Следует сразу же предупредить, что обращение знака времени и T -инвариантность в теоретической физике нельзя смешивать с проблемой обратимости или необратимости времени вообще. Возможно, что существует какая-то связь между T -инвариантностью и отсутствием направленности процессов для вселенной «в целом», а также между нарушением T -инвариантности и асимметрией времени в наблюдаемом мире, но о ней сейчас ничего определенного сказать нельзя².

Если же иметь в виду принципиальную сторону дела, то «с точки зрения физики сегодняшнего дня мы не имеем сколько-либо убедительных оснований для того, чтобы говорить об однонаправленности физического времени. Однако современная физика недвусмысленно указывает на возможность различных ориен-

¹ См., напр.: *Л. Б. Окунь. Слабое взаимодействие элементарных частиц.* М., 1963, стр. 52—53.

² Об общих свойствах времени см.: *Я. Ф. Аскин. Проблема времени.* М., 1966; *А. М. Мостепаненко. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени.* Л., 1969.

таций временного порядка и в этом смысле на возможность различных направлений времени»¹.

T-инвариантность можно выразить иначе, подчеркивая характер того запрета, который содержится в данном принципе (каждый закон является одновременно и «разрешением» и «запретом»). «Может происходить только то, что могло бы произойти и в обратном порядке. Или, еще более негативно, если обращенный во времени процесс невозможен, то и сам процесс не должен происходить»². При зеркальном отражении координат изменяется ориентация процессов, фигур (правое переходит в левое), но сохраняется порядковый тип; при обращении же времени изменяется порядковый тип, а именно, он становится обратным по отношению к исходному. В рамках СРТ-инвариантности законы природы инвариантны относительно изменения ориентации (правая—левая), порядкового типа (прямой—обратный) и вещественного состава физических систем (вещество—антивещество).

Изменение порядкового типа на обратный математически выражается понятием антиизоморфизма.

Согласно теореме Людерса—Паули³, в любой физической теории (удовлетворяющей некоторым требованиям) обязательно должна существовать инвариантность относительно всех трех преобразований: S , P и T , т. е. относительно произведения этих операций, взятых в какой угодно последовательности. Три операции S , P , T вместе с одиночной операцией (которая входит в любую группу по определению) образуют группу четвертого порядка — одну из двух возможных в этом случае. Все операции умножения в этой группе можно записать так (группа абелева, т. е. коммутативная):

$$SP = T$$

$$ST = P$$

$$PT = S.$$

Из таблицы видно, что $SP = T$, т. е. преобразование инверсии вместе с зарядовым сопряжением равносильно изменению знака времени, и вообще совокупность любых двух операций эквивалентна третьей. Гипотеза Ландау и Ли—Янга состояла в том,

¹ Э. М. Чудинов. Пространство и время в современной физике. М., 1969, стр. 46.

² К. Форд. Мир элементарных частиц. М., 1965, стр. 284.

³ См. В. Паули. Принцип запрета, группа Лоренца, отражение пространства, времени и заряда. В сб. «Нильс Бор и развитие физики». М., 1958, стр. 46.

что слабые взаимодействия, несимметричные по отношению к C и P — преобразованиям в отдельности, симметричны относительно CP -преобразования. Если же CP -инвариантность нарушается, то это означает, что отсутствует симметрия слабых взаимодействий и относительно операции обращения времени, т. е. нарушается также T -инвариантность.

Нарушение CP -инвариантности обнаружено только в распадах нейтральных K -мезонов. Сейчас проблема CPT -инвариантности является одной из самых «горячих точек» экспериментальной и теоретической физики. В январе 1968 г. в Москве проходил Международный семинар по проблемам нарушения CP -инвариантности; труды семинара опубликованы в журналах «Успехи физических наук» и «Ядерная физика»¹.

Ученые полагают, что если нарушаются CP и T -инвариантность как таковые, то должна существовать инвариантность законов физики относительно всех трех преобразований C , P и T вместе, т. е. CPT -инвариантность. При этом условии любой физический процесс должен снова переходить в процесс, реализуемый в природе. Как видим, в структуру физической теории входят все более сложные формы симметрии. Если же оказалась бы нарушенной и CPT -инвариантность, то это потрясло бы самые глубокие основы современной физики.

Отметим, что следствием CPT -теоремы является равенство масс, времен жизни и магнитных моментов частиц и соответствующих им античастиц².

Инвариантность физических процессов относительно инверсии пространства, инверсии времени и зарядового сопряжения дает нам три закона сохранения; CP и CPT -инвариантность — еще два. Всего мы имеем здесь пять законов сохранения различной степени общности:

- сохранение P -четности; сохранение C -четности; сохранение T -четности;
- сохранение CP -четности (комбинированная четность);
- сохранение CPT -четности³.

Инвариантность взаимодействий по отношению к инверсии пространства приводит к тому, что наблюдаемые величины не раз-

¹ См. УФН, т. 95, вып. 1, 3 и 4, 1968; «Ядерная физика», № 7, 1968.

² См. К. Нишиджима. Фундаментальные частицы. М., 1965. стр. 355.

³ Вообще же в этой области существуют семь видов дискретных преобразований (симметрий) — простых и комбинированных: P , C , T , CP , CT , PT и CPT . См. Е. П. Вигнер. Нарушение симметрии в физике. «Природа», 1966, № 8.

личаются в левой и правой системах координат. Инвариантность относительно обращения времени допускает только такие наблюдаемые величины, которые не зависят от направления отсчета времени, а инвариантность относительно зарядового сопряжения выделяет наблюдаемые величины, которые не меняются при замене всех частиц на античастицы¹. СРТ-четность можно обозначить, как дважды комбинированную четность или как комбинированную четность второго порядка.

Группа дискретных симметрий, связанных с СРТ-инвариантностью, реализуется в своеобразных законах сохранения зарядового типа. Действительно, четность во всех случаях можно рассматривать как «заряд», принимающий два значения: $+1$ и -1 . Законы сохранения четности выступают в виде определенных «правил отбора»; это характерно для законов сохранения вообще.

Подчеркнем, что сама классификация физических взаимодействий на три вида — сильные, электромагнитные и слабые (особо стоят гравитационные взаимодействия) — осуществляется по степени их симметрии (инвариантности). «Для обосуждения разных свойств симметрии законов физики, — пишет В. Паули, — целесообразно разделить физические взаимодействия на три категории: сильные взаимодействия, к которым относятся взаимодействия нуклонов с нуклонами и мезонами; промежуточные — электромагнитное взаимодействие, обеспечивающее также существование атомных оболочек; и слабые взаимодействия, действующие как во всех процессах β -радиоактивности, сопровождающихся испусканием или поглощением нейтрино, так и при распадах Λ и K -мезонов, происходящих без участия нейтрино. — Сильные взаимодействия обладают более высокой степенью симметрии, чем электромагнитные...»² Слабые взаимодействия обладают самой низкой симметрией: они нарушают СР и Т-инвариантность.

Для сильно взаимодействующих частиц характерна особая симметрия — зарядовая симметрия, получившая название зарядовой независимости. Суть зарядовой независимости состоит в том, что сильные взаимодействия не зависят от электрического заряда взаимодействующих частиц. По отношению к ядерным силам протон и нейтрон оказываются одинаковыми: различие между ними выявляется лишь благодаря электрическому заряду, т. е. с помощью электромагнитного взаимодействия. Поэтому протон и нейтрон можно считать разными состо-

¹ См. Р. К. Эдер, Э. К. Фаулер. Странные частицы. М., 1966, стр. 20.

² «Теоретическая физика 20 века». М., 1962, стр. 376.

ниями одной и той же частицы — нуклона. Зарядовая независимость ядерных сил влечет за собой зарядовую независимость для π -мезонов. Если отвлечься от разницы в массах, то все три вида π -мезонов (π^0 , π^+ , π^-) можно также считать разными состояниями одной частицы. Однотипные частицы образуют **зарядовые мультиплеты**: дублеты (напр., нуклоны), триплеты (π -мезоны) и т. п.

Чтобы различать состояния частицы в пределах данного зарядового мультиплета, была введена особая физическая величина — изотопический спин (I). Каждый мультиплет имеет свое значение изотопического спина; отдельный член мультиплета характеризуется величиной I_z (зетовая составляющая изоспина). Зарядовая независимость равносильна существованию закона сохранения изотопического спина, который можно выразить так: полный изотопический спин всех частиц и его зетовая проекция остаются неизменными при всех реакциях сильно взаимодействующих частиц¹. Следует иметь в виду, что закон сохранения изоспина в чистом виде действует лишь при условии «отключения» всех других взаимодействий между частицами, кроме сильного. Изотопический спин выступает как своеобразная характеристика тождества и различия частиц в пределах данного мультиплета. Новый закон сохранения и здесь оказывается новым типом симметрии, инвариантности. Суть открытия состоит в установлении зарядовой симметрии в области сильных взаимодействий — симметрии (эквивалентности) частиц в рамках зарядовых мультиплетов.

Математически закон сохранения изоспина можно представить как инвариантность теории относительно вращений в некотором абстрактном пространстве — изотопическом пространстве (момент количества движения, характеризующий вращения в реальном пространстве, и изотопический спин обладают одинаковыми групповыми свойствами). Закон сохранения изотопического спина сопоставляется симметрии некоторого абстрактного пространства; эти принципы развиваются далее в представлениях об унитарной симметрии. Отметим, что комплекс идей, связанных с изотопическим спином, оказался весьма эвристичным. Классификация гиперонов по изотопическому спину помогла открыть нейтральные сигма- и кси-гипероны.

Принцип зарядовой независимости был непосредственно использован при изучении свойств особой группы элементарных частиц — т. наз. странных частиц, к которым относятся гипе-

¹ См. напр.: Г. Челлен. Физика элементарных частиц. М., 1966, стр. 73—76; Ю. В. Новожилев. Элементарные частицы. М.—Л., 1963, стр. 119—127.

роны и К-мезоны. Все странные частицы можно разбить на зарядовые мультиплеты (зарядовые семейства): К-мезоны, гипероны сигма и т. п. Центры зарядовых семейств странных частиц¹ оказались «смещенными» по сравнению с центрами дублета нуклонов и триплета пи-мезонов. Физики-теоретики Гелл-Манн и Нишиджима предложили взять в качестве основной характеристики странных частиц удвоенное смещение центров зарядовых мультиплетов — для гиперонов по отношению к нуклонам, а для К-мезонов по отношению к пи-мезонам; эту новую физическую величину назвали странностью (S).

При всех реакциях с сильным и электромагнитным взаимодействиями странность сохраняется, так что имеет место закон сохранения странности. Этот закон объясняет особенности поведения странных частиц. Аналогично тому, как закон сохранения изотопического спина мы сопоставляем симметрии абстрактного изотопического пространства, закон сохранения странности можно сопоставить симметрии особого пространства странности². Закон сохранения странности тесно связан с законами сохранения электрического заряда, барионного числа и изотопического спина. Это непосредственно видно из формулы Гелл-Манна и Нишиджимы, которая установлена эмпирическим путем:

$$Q = I_z + \frac{1}{2} B + \frac{1}{2} S, \quad (15)$$

где Q — электрический заряд;

I_z — проекция изотопического спина на ось z;

B — барионное число;

S — странность.

Как видим, сохранение величин Q, B и I_z ведет к сохранению странности S; точно так же из сохранения Q, B и S вполне однозначно следует сохранение I_z .

Еще с середины XIX века известен закон сохранения электрического заряда, который относится к группе зарядовых законов сохранения. В число зарядовых законов сохранения в собственном смысле входят:

1. Закон сохранения электрического заряда (Q).
2. Закон сохранения барионного заряда (B).
3. Закон сохранения лептонного заряда (L).

¹ Центр зарядового семейства — это средний заряд мультиплета; чтобы его найти, нужно сложить все заряды мультиплета и разделить на число частиц в нем.

² См. Д. Фриш, А. Торндайк. Элементарные частицы. М., 1966, стр. 138.

Зарядовые законы сохранения — это особый тип сохраняющихся физических величин. В отличие от «нетеровских» законов сохранения, когда в системе при всех взаимодействиях остается неизменной какая-либо суммарная ее характеристика, здесь имеет место сохранение разности положительных и отрицательных зарядов, так что зарядовые законы сохранения можно назвать «законами сохранения разности» (выражение В. Паули).

Сохранение электрического заряда вытекает из инвариантности электромагнитных взаимодействий относительно калибровочных преобразований (симметрии волновой функции относительно выбора фазы). Законам сохранения барионного и лептонного зарядов также можно сопоставить калибровочную инвариантность подобного рода¹.

Закон сохранения барионного заряда, или числа барионов (к барионам относятся нуклоны и гипероны), представляет собой дальнейшее обобщение закона сохранения числа нуклонов². Данный закон сохранения выражает тот факт, что разность между числом барионов и числом антибарионов в результате превращений не изменяется.

Аналогично этому формулируется закон сохранения лептонов (электроны, позитроны, мю-мезоны и нейтрино). За последнее время обнаружилось «расщепление» лептонного заряда на электронный лептонный заряд (L_e) и мюонный лептонный заряд (L_μ), которым соответствуют свои законы сохранения. Отсюда непосредственно следует вывод о существовании двух типов нейтрино: мюонного нейтрино и электронного нейтрино и соответствующих им античастиц³.

Сохранение суммарного лептонного заряда ($L_e + L_\mu$) является более слабой формой закона сохранения лептонов. В настоящее время эксперимент не дает возможности сделать выбор в пользу суммарного или раздельного сохранения L_e и L_μ . «Таким образом, чтобы выяснить, какая форма закона сохранения лептонов имеет место, необходимо дальнейшее увеличение точности»⁴.

Если концепцию изотопического спина и странности распространить на лептоны, то формулу Гелл-Манна и Нишиджимы можно обобщить:

$$Q = I_z + \frac{1}{2} S + \frac{1}{2} B - \frac{1}{2} L, \quad (15a)$$

¹ См. сб. «Элементарные частицы и компенсирующие поля». М., 1964.

² См. Р. Далиц. Странные частицы и сильные взаимодействия. М., 1964, стр. 12.

³ См. М. А. Марков. Нейтрино. М., 1964, стр. 26 и след.

⁴ Ц. Ли, Ц. Ву. Слабые взаимодействия. М., 1968, стр. 20.

где L — лептонный заряд¹.

Это соотношение применимо ко всем частицам; оно связывает законы сохранения электрического, барионного и лептонного зарядов, сохранение зетовой проекции изоспина и странности.

Все зарядовые законы сохранения можно выразить единой формулой:

$$\sum_i C_i = \text{const}, \quad (16)$$

где C — заряд (от англ. charge): электрический, барионный, лептонный;

Σ — знак суммирования;

i — числовое значение заряда i -го элемента системы.

Заряды бывают положительные, отрицательные и нулевые; поэтому суммирование здесь алгебраическое. Изотопический спин и странность являются величинами зарядового типа. Если идти в этом направлении далее, то ничто не мешает нам, по крайней мере с формальной точки зрения, рассматривать также S -, P - и T -четность как «заряды». Тогда все не-нетеровские законы сохранения составят один большой класс законов сохранения зарядового типа, который можно разделить на подклассы: собственно зарядовые законы сохранения, сохранение SPT -четности и т. п. Все законы сохранения зарядового типа, кроме сохранения четности, можно представить в виде (16). Данная физическая величина зарядового типа сохраняется при всех (или определенных) изменениях, происходящих в замкнутой системе.

То же самое положение выразим несколько иначе: величина «заряда» любого типа в данной системе до и после реакции остается неизменной.

Формулу (16) запишем в виде:

$$\Delta C = 0, \quad (16a)$$

где C — физическая величина зарядового типа;

ΔC — изменение этой величины в ходе реакции.

Представления о четности в теоретической физике за последнее время расширены. Рассматривается особая квантовая характеристика (квантовое число) — G -четность, которой обладают мезоны². G -четность может принимать значения $+1$ и -1 и вычисляется по формуле:

$$G = (-1)^{L+I}, \quad (17)$$

¹ См. Р. Маршак и Э. Судершан. Введение в физику элементарных частиц. М., 1962, стр. 181.

² См. К. И. Щёлкин. Физика микромира. М., 1968, стр. 182—184.

где I — момент количества движения;

I — изотопический спин.

G-четность есть произведение двух величин: $G = (-1)^I(-1)^I$; первая из этих величин представляет собой квантовое число зарядового сопряжения. В сильных взаимодействиях — например, при сильных распадах резонансов (нестабильных элементарных частиц) — G-четность сохраняется.

G-четность можно рассматривать как своеобразный «заряд», поскольку в формулу (17) входят величины зарядового типа: спин (для одной частицы момент количества движения есть не что иное как спин, т. е. собственный вращательный момент), изотопический спин, C-четность (квантовое число зарядового сопряжения). Отметим, что G-четность в определенном смысле обобщает понятие C-четности: C-инвариантность и изотопическая инвариантность приводят к новому закону сохранения — сохранению G-четности.

Теория изотопической инвариантности за последние годы получила дальнейшее обобщение. Изотопические мультиплеты сильно взаимодействующих частиц — мезонов, баронов и соответствующих резонансов (всю эту группу частиц называют адронами) — объединяют в мультиплеты второго порядка: супермультиплеты, или унитарные мультиплеты. В пределах каждого изотопического мультиплета при условии «отключения» электромагнитных взаимодействий все частицы тождественны друг другу: мультиплеты вырождаются по составляющим изотопического спина. Унитарный мультиплет состоит из нескольких изотопических мультиплетов, отличающихся друг от друга странностью или изотопическим спином или тем и другим вместе. Это различие существует благодаря умеренно сильному взаимодействию, при «отключении» которого все частицы, входящие в супермультиплет, становятся неразличимыми. Умеренно сильное взаимодействие снимает вырождение частиц по гиперзаряду (барионное число + странность) и изоспину, расщепляя унитарный мультиплет на несколько изотопических мультиплетов. Оно ответственно за те различия в массах частиц, которые существуют между изотопическими мультиплетами, а электромагнитное взаимодействие — за различия в массах частиц внутри зарядовых семейств.

Изотопическая инвариантность выражает симметрию абстрактного изотопического пространства; этому соответствует закон сохранения изоспина, суть которого в установлении тождества частиц, входящих в зарядовый мультиплет. Обобщение теории изотопической инвариантности состоит в переходе к высшим

симметриям в области элементарных частиц. Рассматриваются различные виды унитарной симметрии — инвариантности относительно вращений в унитарном пространстве. На языке унитарной симметрии и выражается тождество частиц, входящих в супермультиплеты. Унитарной симметрии соответствуют свои законы сохранения — сохранение унитарного спина и других спиновых характеристик¹.

На основе идей унитарной симметрии предложено несколько схем для классификации адронов². Модель Гелл-Манна и Неемана (1961) принимает в качестве фундаментальных частиц восьмерку барионов: дублет p , n ; синглет Λ ; триплет Σ^+ , Σ^0 , Σ^- ; дублет Ξ^- , Ξ^0 . Четыре изотопических мультиплета входят в один унитарный супермультиплет. Эта модель получила наименование «восьмеричного пути», который в шутку называют также «буддийским путем» (Будде приписывалось восемь добродетелей). Схема Гелл-Манна и Неемана привела к предсказанию и открытию новой элементарной частицы — омега-гиперона.

В 1964 г. Гелл-Манн предложил новую структурную модель, в основу которой положены гипотетические фундаментальные частицы — кварки, обладающие необычными свойствами (они имеют дробный барионный заряд и дробный электрический заряд). Из трех кварков и трех антикварков можно получить весь набор адронов³. Если кварки будут обнаружены экспериментально, это приведет к дальнейшему углублению наших представлений о структуре материи.

Симметрия абстрактных пространств в физике элементарных частиц (изотопическое пространство, унитарное пространство) выражается на языке теории групп⁴. Теоретико-групповые методы дают возможность определить структуру унитарных супермультиплетов, получить набор всех возможных унитарных мультиплетов и т. д. В теории элементарных частиц широкое применение получили группы $SU(n)$, относящиеся к унитарным преобразованиям. В частности, изотопическая инвариантность выражается группой $SU(2)$, унитарная симметрия Гелл-Манна и Неемана — группой $SU(3)$. В настоящее время разрабатываются теории, идущие по пути обобщения унитарной симметрии: это симметрия $SU(6)$, $SL(6)$, алгебра токов и т. д.

¹ См. *Нгуен Ван Хьеу*. Лекции по теории унитарной симметрии элементарных частиц. М., 1967, стр. 191.

² См. *К. И. Щёлкин*. Физика микромира, стр. 211—233.

³ См. *Я. Б. Зельдович*. Классификация элементарных частиц и кварки «в изложении для пешеходов». УФН, т. 86, вып. 2, 1965; *С. Владимиров, М. Карев*. Кварки и элементарные частицы. М., 1965.

⁴ См. сб. «Теория групп и элементарные частицы». М., 1967.

Теперь бросим общий взгляд на систему законов сохранения (см. приложение). Все законы сохранения можно классифицировать по единому признаку — по типам симметрии. Намечаются две большие группы законов сохранения: одна из них соответствует симметрии пространства и времени; другая — внутренней симметрии элементарных частиц и физических взаимодействий. В пределах этих групп определяются четыре подгруппы законов сохранения: (1) нетеровские законы сохранения; (2) сохранение СРТ- и G-четности; (3) SU (n)-симметрия — сохранение абстрактных спиновых характеристик и (4) зарядовые законы сохранения в собственном смысле.

По мере развития физических знаний наблюдается тенденция к обобщению известных законов сохранения, их интеграции и т. п. Обнаружение ограниченности действия тех или иных законов сохранения служит как бы сигналом для поиска более фундаментальных видов сохранения в данной области. Примером могут служить переходы от сохранения числа нуклонов к сохранению барионного числа, от C-, P- и T-инвариантности к обобщенной CP- и CPT-инвариантности и т. д. Продвижение наших знаний в глубь материи ведет к установлению все более фундаментальных типов симметрии и инвариантности; эту тенденцию можно назвать принципом нарастающей симметрии. Отметим, что наибольшей симметрией обладают сильные взаимодействия; здесь соблюдаются все известные ныне законы сохранения. Слабые взаимодействия наименее симметричны: в этой области не выполняются законы сохранения изоспина, странности, C-, P- и CP (T)-четности.

Законы сохранения в их совокупности определяют поведение элементарных частиц; они как бы отбирают из всех возможных реакций только те, которые «разрешены» законами сохранения (поэтому их называют еще «правилами отбора»). Можно сказать иначе: законы сохранения «запрещают» все те реакции, которые им противоречат. «Из современных исследований элементарных частиц вытекает, что единственным ограничением хаоса событий в мире сверхмалого являются запреты, налагаемые законами сохранения. Все, что может происходить без нарушения закона сохранения, действительно происходит»¹. Набор законов сохранения во многом определяет наши знания о взаимодействиях и превращениях элементарных частиц, а значит и об их структуре, поскольку структура микрообъектов раскрывается в процессах взаимодействия, распада, рождения частиц и т. п. Этот

¹ К. Форд. Мир элементарных частиц, стр. 112.

вопрос специально рассматривается в монографии Н. Ф. Овчинникова «Принципы сохранения»¹.

Для современной теоретической физики характерно определенное сближение принципов симметрии и инвариантности, с одной стороны, и законов сохранения, с другой. Они тесно связаны друг с другом, но в то же время их нельзя отождествлять, поскольку они выражают различные стороны закономерностей сохранения. «Согласно принципу симметрии (инвариантности), — пишет К. Форд, — все законы остаются неизменными при конкретном изменении условий, а, согласно закону сохранения, определенная величина остается неизменной при всех возможных физических процессах»². При этом, как мы знаем, принципам симметрии соответствуют определенные законы сохранения и наоборот. Исключение составляет лишь закон сохранения массы, который играет в физике очень важную роль (в квантовой механике, например, масса выступает как главное квантовое число), но которому нельзя сопоставить какой-либо симметрии.

Границы между симметрией (инвариантностью) и сохранением в собственном смысле сейчас начинают в ряде случаев стираться. Действительно, СРТ-инвариантность выступает одновременно как своеобразный закон сохранения зарядового типа. То же самое можно сказать о сохранении G-четности. Унитарной симметрии соответствует сохранение некоторых абстрактных спиновых характеристик, но в этом случае нас больше интересует тождество частиц, входящих в супермультиплет. Это тождество играет здесь роль закона сохранения. (Вырождение частиц по гиперзаряду и странности соответствует замкнутости системы.) Любой закон сохранения выражает ведь не что иное, как тождество системы самой себе в определенном отношении.

Выше мы записали зарядовые законы сохранения в виде формул (16) и (16а). Аналогично этому можно дать формулу сохранения, которой удовлетворяет любая сохраняющаяся величина (кроме сохранения четности):

$$\sum_i X_i = \text{const}, \quad (18)$$

или

$$\Delta X = 0, \quad (18a)$$

где X — некоторая физическая величина;

i — числовое значение данной величины для i -го элемента

¹ См. Н. Ф. Овчинников. Принципы сохранения, стр. 261 и след.

² К. Форд. Мир элементарных частиц, стр. 281.

системы (числа рациональные, т. е. целые и дробные, положительные и отрицательные).

Эти формулы охватывают два типа сохраняющихся физических величин:

1) **Аддитивные** величины в арифметическом смысле, куда относятся масса, энергия, импульс и т. д. Аддитивность (от лат. *additio* — прибавление) есть особое свойство физических и других систем, состоящее в том, что величина, характеризующая систему в целом, всегда равна сумме величин, соответствующих ее частям, каким бы образом эту систему ни разбивали на части.

2) **Аддитивные** величины в алгебраическом смысле; сюда входят электрический, барионный и лептонный заряды, странность, изоспин и т. п. Это величины зарядового типа, обладающие знаковостью (плюс—минус), поэтому они суммируются алгебраически. В теории элементарных частиц широко пользуются понятием аддитивности в обобщенном, т. е. алгебраическом, смысле¹.

В отличие от аддитивных величин четность (С-, Р-, Т-, G-четность и их обобщения) является величиной мультипликативной (от лат. *multiplicatio* — умножение). Четность системы частиц равна не сумме четностей отдельных частиц, а произведению четностей. Закон сохранения четности любого вида символически можно изобразить в виде:

$$\prod_i X_i = \text{const}, \quad (19)$$

где \prod — знак умножения;

i — четность i -го элемента системы.

Знаки суммирования Σ и умножения \prod можно заменить оператором F ; тогда общая формула сохранения примет вид:

$$F \prod_i X_i = \text{const}; \quad (20)$$

$$\Delta X = 0, \quad (20a)$$

где F — оператор.

При всех изменениях, происходящих в замкнутой системе, данная величина — аддитивная или мультипликативная — сохраняется. Под «изменениями» здесь понимаются все физические процессы, которые математически выражаются сложением и умножением величин, причем эти действия должны обладать

¹ См., напр.: Р. Маршак и Э. Судершан. Введение в физику элементарных частиц, гл. 4.

свойством коммутативности (независимость суммы и произведения от перестановки слагаемых и сомножителей).

Законы сохранения, принципы инвариантности и симметрии, рассмотренные выше, не исчерпывают всех принципов сохранения, известных в современной физике. Если принципы сохранения понимать достаточно широко, то сюда следует отнести ряд других фундаментальных принципов, которые входят в структуру физической теории.

Рассмотрим некоторые физические принципы, играющие роль принципов сохранения.

Равенство инерционной и гравитационной масс. Еще Галилей установил факт равенства скоростей тел, падающих в пустоте. Отсюда следовало равенство инерционной и гравитационной масс, которое было проверено многочисленными очень точными опытами (Этвеш, Дикке и др.). До разработки общей теории относительности (ОТО) этот факт стоял в стороне от ведущих физических теорий. В ОТО, которая является современной теорией пространства, времени и тяготения, закон (принцип) равенства инертной и гравитационной масс входит в структуру самой теории¹.

Эквивалентность инертной и тяготеющей масс можно рассматривать как своеобразный принцип сохранения. Только наличие этой эквивалентности позволяет нам говорить о едином законе сохранения массы, поскольку сохранение инерционной и гравитационной масс обосновывается независимо друг от друга. Принцип равенства инерционной и гравитационной масс:

$$m_{ин} = m_{гр}$$

входит в структуру закона сохранения массы, поэтому он сам играет роль закона сохранения. Эквивалентность двух видов массы можно рассматривать как «стянутый в точку» закон сохранения. Невыполнение условия эквивалентности имело бы большие последствия для всей теоретической физики.

Принцип равенства инерционной и гравитационной масс можно выразить иначе: действие поля тяготения на различные тела совершенно одинаково, т. е. оно сообщает телам одинаковые ускорения. Обе формулировки эквивалентны друг другу². Но

¹ См. В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1961, стр. 307—308; сб. «Новейшие проблемы гравитации». М., 1961, стр. 309—311.

² См. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика. М., 1967, стр. 14.

вторую из них легко перевести на язык инвариантов: ускорение тел в поле тяготения инвариантно относительно замены одного тела другим. Иначе можно сказать, что физическая ситуация здесь симметрична относительно «подстановок»; она остается неизменной при определенных изменениях, а именно при замене одного тела другим. Как видим, равенство инерционной и гравитационной масс играет роль своеобразного принципа сохранения.

Нулевое начало термодинамики. Оно дает возможность определить интенсивную величину, характеризующую тепловое равновесие, которую называют эмпирической температурой. Нулевое начало можно сформулировать следующим образом: «Для всех систем, находящихся друг с другом в тепловом равновесии, эмпирические температуры равны, тогда как для систем, не находящихся между собой в тепловом равновесии, эмпирические температуры различны»¹. В этом определении нетрудно увидеть своеобразный принцип инвариантности: температура является величиной, инвариантной относительно перехода от одной равновесной системы к другой, при условии, что все эти системы находятся в равновесии между собой. Термодинамическое равновесие (и температура как величина, его характеризующая) отвечает условиям рефлексивности, симметричности и транзитивности, которые задают отношение эквивалентности. Но от симметрии мы всегда можем перейти к соответствующим инвариантам.

Интересно отметить непосредственную связь основных начал термодинамики с принципами сохранения. О нулевом начале мы только что говорили. Первое начало — это закон сохранения энергии, отнесенный к тепловым явлениям. Второе начало для обратимых процессов представляет собой закон сохранения энтропии. Все три величины — температура, энергия и энтропия — являются функциями состояния системы, так что нулевое начало можно выразить как равенство температуры для всех систем, находящихся в тепловом равновесии друг с другом, первое начало — как равенство энергии для всех состояний данной системы при условии ее замкнутости, а второе начало — как равенство энтропии (для обратимых процессов). При таком подходе раскрываются моменты общности всех трех термодинамических величин, каждая из которых связана с определенным принципом сохранения.

¹ Р. Хаазе. Термодинамика необратимых процессов. М., 1967, стр. 12. См. также: И. П. Базаров. Термодинамика. М., 1961, стр. 17—20; Д. Эверет. Введение в химическую термодинамику. М., 1963, стр. 205—207.

Сохранение типа статистики (принцип тождественности, или неразличимости частиц). Одним из фундаментальных принципов квантовой механики является сохранение типа статистики, которое обусловлено сохранением определенного типа внутренней симметрии микрообъектов. Иначе это можно выразить как принцип тождественности, или неразличимости, одинаковых частиц (например, электронов или протонов и т. п.). Согласно этому принципу, состояние системы остается неизменным при взаимной перестановке (транспозиции) частиц. Мы имеем здесь не что иное, как инвариантность квантово-механического состояния относительно транспозиции частиц.

Квантовая механика утверждает, что совокупность одинаковых частиц может находиться в состояниях только с определенным типом симметрии. В природе реализуются либо симметричные состояния (волновая функция симметрична, т. е. не меняет своего знака при перестановке двух частиц), либо состояния антисимметричные (волновая функция антисимметрична, т. е. меняет свой знак на обратный при транспозиции частиц). Квантовые переходы между этими состояниями оказываются невозможными.

Наличие симметричных и антисимметричных волновых функций частиц обуславливает существование двух типов статистики для квантово-механических систем — статистики Бозе—Эйнштейна и статистики Ферми—Дирака. Первая распространяется на частицы с целым спином (бозоны: фотоны и мезоны), вторая — на частицы с полуцелым спином (фермионы: электроны, позитроны и т. д.). Как видим, существует тесная связь между внутренней симметрией микрочастиц, типом статистики и спином; на эту связь впервые указал В. Паули. Согласно статистике Бозе—Эйнштейна, в данном состоянии, которое характеризуется набором квантовых чисел, может находиться любое число частиц. Согласно же статистике Ферми—Дирака, в каждом состоянии может находиться лишь одна частица (принцип Паули)¹.

Сохранение типа статистики есть сохранение данного типа симметрии микрочастиц, своеобразный закон сохранения симметрии. Если волновая функция симметрична или антисимметрична по отношению к перестановке координат (пространственных и спиновых) тождественных частиц, входящих в какую-либо систему, то характер симметрии этой функции не изменяется со временем. Как пишет Д. Бом, «тип симметрии в

¹ См., напр.: Фейнмановские лекции по физике, т. 8. М., 1966, гл. 2.

функции сохраняется на все времена. Таким образом, можно утверждать, что тип симметрии функции является постоянной движения системы тождественных частиц»¹.

Подчеркнем, что сохранение симметрии микрочастиц и соответствующего типа статистики имеет место только в рамках квантовой механики, где запрещены переходы ферми-состояния в бозе-состояние и наоборот. В квантовой электродинамике, учитывающей процессы аннигиляции и рождения пар, уже разрешен переход фермионов в бозоны и обратно:

$$e^- + e^+ \rightleftharpoons 2\gamma, \quad (21)$$

где e^- — электрон;

e^+ — позитрон;

γ — фотон (гамма-квант).

Себетожественность частиц. В основе всей физики — и классической, и современной — лежит представление о себетожественных частицах, т. е. частицах, которые остаются всегда тождественными самим себе в процессе движения. Эволюция картины мира состояла в переходе ко все более общим архимедовым геометриям, постулирующим непрерывность пространства. Принцип себетожественности частиц можно рассматривать как особую форму сохранения фундаментальных частиц материи. Исторически идея сохранения вначале «привязывалась» к вещам (представления о неизменных атомах), а затем — к свойствам и отношениям. И вот теперь выясняется, что самой глубокой основой сохранения как будто оказываются все-таки вещи, поскольку в фундаменте современных физических представлений лежит принцип себетожественности частиц. (Здесь легко можно обнаружить определенную повторяемость — в смысле отрицания отрицания — в развитии принципов сохранения).

Но уже сейчас намечаются контуры будущей теории, которая в своих основаниях пойдет дальше квантовой механики; в частности высказываются идеи о квантовании пространства—времени. «Мысль о логической и исторической ограниченности квантовой механики, — пишет Б. Г. Кузнецов, — сейчас приобрела широкое признание. Вместе с тем становится все более вероятным, что квантование пространства и времени ограничивает не специфические постулаты квантовой механики, а общую основу всякой механики — классической, релятивистской и квантовой, общее для всех механических концепций представление о

¹ Д. Бом. Квантовая теория. М., 1961, стр. 562.

себетождественности элементарной частицы»¹. Движение частицы в ультрамикроскопическом мире можно представить как серию регенераций, т. е. аннигиляций и последующих порождений частицы того же рода, в дискретном пространстве—времени. Геометрия такого мира будет не а р х и м е д о в о й. Несомненно, что в структуру новой теории войдут свои принципы симметрии, инвариантности, раскрывающие сохранение отношений на более глубоком уровне физического знания.

Адиабатические инварианты. Адиабатические инварианты — это величины, которые остаются постоянными при адиабатических, т. е. очень медленных и обратимых, изменениях параметров системы. Изменение должно быть медленным по сравнению с периодами движений в данной системе. Понятие адиабатических инвариантов применимо как в классической, так и в квантовой физике. Впервые оно было развито Паулем Эренфестом².

В области квантовой теории выяснилась глубокая связь квантовых представлений с адиабатической инвариантностью. Квантуются величины, являющиеся адиабатическими инвариантами. Характеризуя квантовую систему, для которой параметр λ (длина волны квантового осциллятора) изменяется, А. Эйнштейн следующим образом формулирует адиабатическую гипотезу Эренфеста: «При обратимом адиабатическом изменении λ всякое возможное с точки зрения квантовой теории состояние переходит снова в состояние того же типа»³. Иначе можно сказать, что в данном случае область возможных квантовых состояний преобразуется в себя (имеет место симметрия квантовых состояний относительно подстановок).

Постоянные величины (константы). Существует обширный класс постоянных физических величин, которые входят в структуру любой физической теории. Постоянные величины фиксируют моменты устойчивости, стабильности физического мира, поэтому их можно отнести к принципам сохранения.

Необходимо различать сохраняющиеся, инвариантные и постоянные величины⁴. Сохраняющиеся величины соответ-

¹ Б. Г. Кузнецов. Принцип относительности в античной, классической и квантовой физике. М., 1959, стр. 212; он же. Пути физической мысли. М., 1968, гл. XVI.

² См. P. Ehrenfest. Collected Scientific Papers. Amsterdam, 1959, p. 30.

³ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. III, М., 1966, стр. 334.

⁴ См. в этой связи: А. Ф. Перетурин. О единстве и различии постоянных, инвариантных и сохраняющихся величин в физике. М., 1969.

вуют известным нам законам сохранения. **И н в а р и а н т н ы е** величины — это такие величины, которые не изменяются при определенных преобразованиях, составляющих группу, например, в случае преобразований Лоренца в теории относительности. Наконец, **постоянные** величины характеризуют устойчивость отношений между различными параметрами физических систем, постоянство связей и отношений на данном уровне организации материи и т. д.

Класс постоянных величин можно разбить на два подкласса соответственно их роли в структуре физической теории:

1) **Фундаментальные (универсальные) постоянные**: скорость света в вакууме, квант действия (постоянная Планка), гравитационная постоянная, заряд электрона, постоянная Больцмана и др.;

2) **региональные (отраслевые) постоянные**: оптические постоянные, константы равновесия в термодинамике, точки перехода агрегатных состояний вещества друг в друга при заданных условиях и т. п. Характеризуя подобные точки перехода, Ф. Энгельс писал, что «так называемые константы физики в значительной своей части суть не что иное, как обозначения узловых точек, где количественное прибавление или убавление движения вызывает качественное изменение в состоянии соответствующего тела, где, следовательно, количество переходит в качество»¹.

Классы сохраняющихся, инвариантных и постоянных величин пересекаются друг с другом. Например, такие физические константы, как заряд электрона, постоянная Планка, постоянная Больцмана являются релятивистски инвариантными величинами. Энергия—импульс относится к числу сохраняющихся и релятивистски инвариантных величин.

Сохраняющиеся величины не следует отождествлять с постоянными величинами, т. е. физическими константами.

Ряд сохраняющихся величин не обладают свойством инвариантности: так, величина массы и энергии зависит от того, в какой инерциальной системе отсчета мы их рассматриваем — покоящейся или движущейся. Наоборот, масса и энергия покоя относятся к числу релятивистски инвариантных величин, но не являются величинами сохраняющимися.

Если сохранение и сохраняющиеся величины рассматривать в широком плане, то в этом случае инвариантные и постоянные

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 387.

величины будут выступать как модификации сохраняющихся величин.

На этом мы заканчиваем анализ физических принципов сохранения и перехода к рассмотрению проблемы сохранения в других областях естествознания.

3. Химическая форма движения и ее инварианты

Сохранение является атрибутом материи. В силу неразрывной связи материи и движения мы можем представить окружающий нас мир как движущуюся материю и как материальное движение. «Сказать ли: мир есть движущаяся материя или: мир есть материальное движение, от этого дело не изменится»¹. Каждой форме движения должны соответствовать определенные формы сохранения. Поскольку сохранение есть инвариант изменений, то можно сказать, что для каждой формы движения характерны свои инварианты. В терминах системно-структурного анализа ту же мысль можно выразить иначе: на всех уровнях организации материи имеются свои инвариантные аспекты систем.

Нельзя понять сущность той или иной формы движения, не изучив вместе с особенностями изменения также специфику сохранения в данной области. В. И. Ленин писал: «Условие познания всех процессов мира в их «самодвижении», в их спонтанном развитии, в их живой жизни, есть познание их как единства противоположностей»². Единство сохранения и изменения в его специфическом проявлении определяет структуру и функционирование систем на данном уровне организации материи. Процесс развития как процесс самовозрастания организации материальных систем также оказывается не чем иным, как усложнением и совершенствованием форм изменчивости и устойчивости.

Химическую форму движения можно определить как совокупность всех процессов ассоциации атомов и диссоциации молекул. (Ассоциации атомов с объединением их ядер здесь не рассматриваются; это явление относится к физической форме движения). Она качественно специфична по отношению к другим формам движения и является высшей формой движения в неорганической природе. Химия изучает все многообразие структурных связей и взаимопереходов в интервале «атом—молекула»,

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 286.

² Там же, т. 29, стр. 317.

и в этом смысле химию можно кратко определить, следуя Ф. Энгельсу, как науку о движении атомов, как физику атомов¹. Для химической формы движения, как и для всякой другой, характерны свои особенности изменения и свои специфические инварианты, т. е. проявления сохраняемости.

Рассмотрим основные модификации сохранения на уровне химической организации материи, которые можно назвать принципами сохранения в современной химии.

Постоянство химических элементов. Атом в химии есть структурная единица, «квант» соответствующего простого вещества; он неделим в химическом смысле и не может быть превращен чисто химическими средствами в атом какого-либо другого вида (в отличие от элементарных частиц, которые превращаются друг в друга в рамках физической формы движения). Все атомы данного вида химически тождественны, если не учитывать явления радиоактивности, изотопии, ядерной изомерии и т. п. Химические свойства атомов не зависят от того, каким путем получены сами атомы. Можно сказать, что атом (химический элемент) есть инвариант химических превращений. Именно эта мысль, к осознанию которой впервые подошел Роберт Бойль, легла в основу научной химии¹.

Отдельные атомы данного типа, входящие в состав какого-либо химического соединения (системы), не отличимы друг от друга; их можно поменять местами, и от этого система не изменится. Таким образом, в химии действует принцип неразличимости однородных атомов, или иначе — инвариантность химических систем относительно транспозиции однотипных атомов. Правда, атомы отличаются своим положением в системе, но от этого принцип транспозиции не нарушается.

Если сама молекула может быть ориентирована в пространстве таким образом, что ее ориентации окажутся неотличимыми друг от друга, то молекула обладает симметрией. Эквивалентность ориентаций молекулы в пространстве, т. е. пространственная симметрия молекулы, является следствием неразличимости однотипных атомов. Но мы знаем, что свойства симметрии можно выразить на языке инвариантов. Поэтому симметрию химических структур (молекулы, комплексы) и соответствующие

¹ См. К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 20, стр. 386, 391.

² Наблюдая изменения некоторых тел при действии определенных реагентов, которые как бы разрушают природу этих тел, «Бойль заключил, что «корпускулы», из которых образованы тела, остаются неизменными при различных превращениях последних» (М. Джуа. История химии. М., 1966, стр. 92).

инварианты можно рассматривать как одно из проявлений сохраняемости в рамках химической организации материи¹.

Химические элементы остаются неизменными при их трансляциях в пространстве и во времени. Это соответствует однородности «химического» пространства и времени (изотропность пространства включим в понятие однородности). Действительно, все атомы данного вида химически тождественны, независимо от того, где они находятся и в какой момент времени мы их рассматриваем. Все точки «химического» пространства и времени в этом смысле эквивалентны друг другу. Мы считаем тождественными химические элементы, находящиеся в различных областях земного шара, элементы, входящие в состав нашей планеты и космической материи. Для нас неразличимы химические атомы периода рождения Галактики и «современные» представители менделеевского мира.

Инвариантность химических элементов относительно трансляций в пространстве и времени не противоречит идее эволюции вещества во вселенной; наоборот, развитие вещества становится возможным лишь тогда, когда в ходе эволюции фиксируются «узловые точки» — химические элементы, которые в своем качестве являются неизменными.

Возможно, что в действительности атомы несут в своей структуре информацию об истории их существования, но подобные эффекты, если они существуют, выше разрешающей способности современных методов исследования. У нас нет оснований считать однородные атомы абсолютно тождественными.

Точно также было бы неправильным постулировать абсолютную тождественность молекул; мы должны говорить об относительном обезличивании молекул, понимая под этим отвлечение от их индивидуальных различий².

Все виды химической инвариантности атомов, о которых говорилось выше, имеют место лишь в пределах «менделеевского мира», т. е. в тех областях вселенной, где действует известная нам форма периодического закона Менделеева. В этих областях сам периодический закон строго выполняется независимо от того, какие массы вещества мы рассматриваем — малые или большие. М. Г. Валяшко отмечает, что периодический закон и все следствия из него, как показывает современный опыт, «ни в одной из

¹ Детализировать вопрос о симметрии в химии мы не будем. См. в этой связи работы: Г. Джаффе, М. Орчин. Симметрия в химии. М., 1967; Р. Драго. Физические методы в неорганической химии. М., 1967, гл. 4.

² См. Б. М. Кедров. Три аспекта атомистики. I. Парадокс Гиббса. Логический аспект. М., 1969, стр. 96—97.

земных реакций не нарушается и остается справедливым для всех доступных нашему научному наблюдению масс вещества»¹.

Устойчивость химических элементов в структурном плане необходимо рассматривать на двух относительно самостоятельных уровнях: а) устойчивость атомных ядер и б) устойчивость электронных структур атомов. Теория устойчивости атомных ядер объясняет закономерности распространения химических элементов². При неизменной структуре ядра возможно формирование различной электронной структуры атома в зависимости от внешних условий (напр., под действием сверхвысоких давлений). Это своеобразная «изомерия» электронных конфигураций атомов, когда одной и той же ядерной структуре соответствует различное расположение электронов на орбитах (порядок застройки электронных уровней).

Химические свойства элементов определяются в основном их внешними, валентными электронами. При любой застройке орбит возникнут сходные структуры, для которых будет характерна и общность химических и физических свойств. «Сейчас стало ясным рациональное обоснование периодической системы: элементы имеют сходные химические и физические свойства вследствие сходных электронных конфигураций атомов»³. Эта закономерность сохранится при любом способе заполнения электронных оболочек, хотя форма периодичности может существенно измениться (неменделеевская химия). Понятно, что в каждой «химии» неменделеевского типа будут действовать свои принципы неразличимости однородных атомов.

Итак, если допустить, что привычные нам электронные структуры в атомах претерпели глубокие изменения, это приведет к существенным изменениям химических свойств элементов. «Иными словами, если та последовательность заполнения электронных оболочек, которая имеет место в таблице Менделеева и на которой, собственно, базируется менделеевская периодичность, будет нарушена, то разумно ставить вопрос о какой-то иной форме периодичности. Этой новой периодичности должны будут подчиняться свойства химических элементов, ставшие совершенно неизвестными по сравнению с привычными нам свойствами элементов из-за нарушения последовательности заполне-

¹ М. Г. Валяшко. Геохимия и геология. Сб. «Философские вопросы геологических наук». Изд-во Моск. ун-та, 1967, стр. 85.

² См. В. В. Чердынцев. Распространенность химических элементов. М., 1956, гл. II.

³ Дж. Спайс. Химическая связь и строение. М., 1966, стр. 59.

ния электронных оболочек»¹. Здесь мы еще раз встретились с тем, как изменения в области порядкового типа (структуры порядка) ведут к образованию нового качества.

Химическая форма общезаконности. На химическом уровне учитываются такие эффекты, которые связаны с законами сохранения массы, энергии, энтропии (при обратимости процессов), момента количества движения и некоторых других величин. Закон сохранения массы в классической химии, как можно назвать доквантовую химию и химию низких энергий, выступает в виде закона сохранения веса вещества. В химии высоких энергий существенными становятся эффекты, связанные с процессами превращения вещества в излучение; в этом случае сохраняется не вес вещества, а масса всех компонентов системы с учетом массы поля.

Закон сохранения энергии проявляется здесь в виде законов термохимии. **Первый закон** термохимии, открытый Лавуазье и Лапласом, утверждает, что для каждого химического соединения теплота разложения равна теплоте его образования, взятой с обратным знаком. **Второй закон**, который часто называют законом постоянства сумм тепла, гласит: тепловой эффект реакции не зависит от промежуточных стадий, а определяется лишь начальным и конечным состояниями системы². Второй закон термохимии был открыт в 1840 г. российским академиком Г. И. Гессом. Закон Гесса явился важной вехой на пути, который вел к установлению закона сохранения и превращения энергии. Следует отметить, что закон Гесса является основным законом термохимии, поскольку положение о равенстве величин теплот образования и разложения (по абсолютной величине) представляет собой следствие этого закона.

Стехиометрические законы: постоянство химического состава веществ. К числу стехиометрических законов относятся закон постоянства состава, закон эквивалентов и закон кратных отношений. Эти законы фиксируют определенный тип химических инвариантов. Закон постоянства состава, предсказанный еще Ломоносовым и установленный Прустом, можно сформулировать так: химические соединения имеют постоянный состав независимо от способа их получения, т. е. всегда состоят из одних и тех же элементов, соединенных друг с другом в строго

¹ Д. Н. Трифонов. Границы и эволюция периодической системы. М., 1963, стр. 113.

² См., напр.: М. К. Стругацкий и Б. П. Надеинский. Общая химия. М., 1957, стр. 253.

определенном весовом отношении. Характеризуя открытый им закон, Пруст писал: «Соединение есть привилегированный продукт, которому природа дала постоянный состав. Природа, даже через посредство людей, никогда не производит соединения иначе, как с весами в руках, — по весу и мере. От одного полюса к другому соединения имеют тождественный состав... Никакой разницы мы не видим между окисью железа южного полушария и северного; ... во всем свете имеется только один хлористый натрий, одна селитра, одна серно-кальциевая соль, одна сернобариевая соль. Анализ подтверждает эти факты на каждом шагу»¹. Пруст эмпирически подходит к выводу об однородности «химического» пространства; он формулирует идею постоянства (инвариантности) состава химических соединений в смысле независимости их от способа получения.

Закон постоянства состава в определенном смысле аналогичен принципу тождественности (неразличимости) однородных атомов. Однако принцип неразличимости элементов принимается в химии неявно, тогда как закон постоянства состава в явном виде относят к числу основных законов химии. К закону постоянства состава тесно примыкают закон эквивалентов и закон кратных отношений. Эти три закона являются частью единого целого — стехиометрических оснований химии. Стехиометрические законы характеризуют не только постоянство состава, но и определенные моменты устойчивости химических структур². Они получают очень простое объяснение на основе атомистических представлений.

Следует подчеркнуть, что законы стехиометрии действуют только в области определенных соединений. Но это обстоятельство отнюдь не умаляет их значения именно как исходных законов химии.

Сохранение числа частиц (атомов). Характерным для химической формы движения является сохранение числа элементарных структурных единиц — атомов. В отличие от элементарных частиц в физике, атомы не превращаются друг в друга, если исключить ядерные процессы, два атома не могут слиться в один и т. д. По этой причине в любой химической реакции сохраняется: (а) общее число атомов и (б) число атомов данного вида.

¹ Цит. по кн.: Б. Н. Меншуткин. Важнейшие этапы в развитии химии за последние полтора столетия. Л., 1934, стр. 26.

² Противоречия между устойчивостью и изменчивостью в области состава и строения вещества рассматриваются в книге: «Противоречия в развитии естествознания». М., 1965, стр. 115—128.

В ходе реакции атомы лишь перераспределяются, переходя из одного соединения в другое и т. п. При этом всегда сохраняется двойной баланс числа атомов в указанном выше смысле.

Можно сказать, что множество атомов, участвующих в реакции, и подмножества атомов данного вида в ходе реакции тождественно преобразуются в себя. В системе, которая является химически замкнутой (отсутствуют обмен веществом с окружающей средой и ядерные процессы внутри системы) имеет место закон сохранения числа атомов. Закон сохранения числа атомов выражается в символической записи самой химической реакции (все члены равенства надо перенести в одну сторону):

$$\sum_i v_i A_i = 0, \quad (22)$$

где A_i — химические символы реагирующих веществ;
 v_i — коэффициенты (целые положительные или отрицательные числа)¹.

Для атомов данного вида и для всей совокупности атомов в замкнутой системе:

$$\Delta vA = 0. \quad (22a)$$

Мы получили «химический» вариант общей формулы сохранения для аддитивных величин (18a).

Химическое равновесие. Особым случаем устойчивости, сохранения в рассматриваемой области является химическое равновесие — такое состояние обратимых процессов, когда прямая и обратная реакции в них протекают с одинаковой скоростью, вследствие чего концентрации всех реагирующих веществ остаются постоянными. Это равновесие является подвижным, динамическим равновесием; при неизменных условиях оно сохраняется любое время. Изменение условий (температуры, давления, концентрации) ведет к смещению химического равновесия, которое подчиняется **принципу Ле Шателье**. Согласно этому принципу изменение одного из условий химического равновесия вызывает смещение равновесия в направлении той реакции, которая противодействует произведенному изменению. Так, при повышении температуры происходит смещение равновесия в сторону эндотермической реакции (идущей с поглощением теплоты). Принцип Ле Шателье является следствием второго

¹ См. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. М., 1964, стр. 374.

начала термодинамики, а химическое равновесие — частным случаем термодинамического равновесия.

В более широком плане этот принцип формулируется следующим образом: всякая система, находящаяся в равновесии, при внешнем воздействии, выводящем ее из состояния равновесия, стремится перейти в такое состояние, при котором это воздействие ослабляется. Принцип Ле Шателье вполне аналогичен закону Ленца, известному в учении об электричестве: индуцированный электрический ток всегда имеет такое направление, при котором ослабляется внешнее воздействие, вызывающее этот ток¹. Наконец, принцип Ле Шателье и закон Ленца можно сопоставить закону инерции в механике. Все три случая аналогичны в том смысле, что соответствующие системы стремятся восстановить нарушенное равновесие, оказывая «сопротивление» возмущающим факторам и переходя в новое состояние, при котором внешнее воздействие ослабляется. Все материальные системы стремятся к устойчивости, равновесию и к сохранению состояния равновесия. Система, устойчивая в смысле Ле Шателье, — это инвариантная система, где инвариантом является состояние равновесия, которое сохраняется за счет сдвигов (смещений) под воздействием изменившихся условий.

Изомерия: модификации химических структур и их инварианты. Установление стехиометрических законов явилось — исторически и логически — первым шагом на пути раскрытия специфики химических инвариантов. Так, на этом уровне знаний мы можем утверждать, что химические соединения имеют постоянный состав независимо от способа их получения. Утверждение, обратное по смыслу закону постоянства состава, было бы неправильным: нельзя сказать, что определенному составу отвечает только одно единственное химическое соединение. Известны многочисленные химические вещества — изомеры, имеющие одинаковый состав, но обладающие различными свойствами.

Изомерия выступает как конкретное проявление единства тождества и различия в области химических веществ. Методологические подходы к анализу явлений изомерии были намечены еще К. Марксом. Он писал: «Так, например, масляная кислота и пропиловый эфир муравьиной кислоты — различные вещества. Однако оба они состоят из одних и тех же химических субстанций — углерода (С), водорода (Н) и кислорода (О), и притом в одном и том же процентном отношении, а именно: $C_4H_8O_2$.

¹ См. А. Г. Самойлович. Термодинамика и статистическая физика. М., 1955, стр. 129—130.

Если бы мы приравнивали масляную кислоту к муравьино-пропиловому эфиру, то это значило бы в данном уравнении, во-первых, что муравьино-пропиловый эфир есть лишь форма существования $C_4H_8O_2$ и, во-вторых, что масляная кислота также состоит из $C_4H_8O_2$. Посредством приравнивания муравьино-пропилового эфира к масляной кислоте была бы выражена, таким образом, их химическая субстанция в отличие от их физической формы»¹.

Необходимо определить тождественную основу (субстанцию) двух различных химических веществ — изомеров («приравнивать» их друг другу), а затем раскрыть причину модификаций этой единой основы.

Все виды химической изомерии можно разделить на два типа именно в зависимости от того, что мы берем в качестве тождественной (инвариантной) основы изомерных веществ:

1) Структурная изомерия: остается неизменным элементарный состав молекул, но меняется порядок химического взаимодействия атомов в молекулах (последовательность межатомных связей);

2) Пространственная изомерия: сохраняется элементарный состав молекул и последовательность химического взаимодействия атомов в молекулах изомеров, но изменяется пространственное расположение атомов в молекуле, т. е. направленность межатомных связей в пространстве; изомерия здесь обусловлена пространственной асимметрией молекул. В пределах данных типов существуют свои разновидности изомеров².

Мы не выделяем здесь особый вид химической изомерии — конформационную (вращательную) изомерию, которая связана с поворотом узлов молекулы друг относительно друга в пространстве без изменения порядка химических связей и пространственного расположения атомов в молекуле³.

Таким образом, в химических структурах мы последовательно выделяем три момента (уровня): элементарный состав, порядок взаимодействия атомов и пространственное расположение атомов в молекуле. В такой же последовательности развивались химические знания и в действительности — от законов стехиометрии к теории химического строения Бутлерова и далее к стереохимии. Логическое здесь соответствует историческому.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23, стр. 59.

² См. Ю. А. Жданов. Очерки методологии органической химии. М., 1960, стр. 130—132; А. П. Терентьев, В. М. Потапов. Основы стереохимии. М.—Л., 1965.

³ См. Т. М. Бирштейн и О. Б. Птицын. Конформации макромолекул. М., 1964; Ю. А. Пентин. Вращательная изомерия молекул. М., 1969.

Наши знания о структуре химических веществ становятся все более глубокими и полными. Для каждого уровня характерны свои представления о тождественности химических веществ и свои критерии их различения. Этот вопрос возник, например, в период создания основ стереохимии. Вислиценус, один из основоположников стереохимии, писал в тот период: «Но раз допущена возможность молекул одинакового состава, структурно тождественных, но несколько отличающихся по свойствам, то это нельзя истолковать иначе, как приняв, что причина такого различия заключается лишь в различном пространственном расположении атомов, соединенных друг с другом в одинаковой последовательности»¹.

Зеркальная изомерия в химии аналогична Р-инвариантности (зеркальному отражению координат) в физических процессах. В обоих случаях сохраняется **порядковый тип**, но изменяется ориентация (структур, процессов). Итак, один тип химической изомерии переводится на язык инвариантов. Это значит, что и всю проблему изомерии можно вполне корректно изложить в терминах инвариантности (сохранения).

К явлениям изомерии в собственном их смысле, которые охватывают только молекулы одинакового состава, примыкают другие, во многом аналогичные явления — полиморфизм, криптомерия, полимер-изомерия и т. п.

Принцип неуничтожимости свободной валентности. Это один из частных принципов сохранения в химии, однако он имеет большое значение для химической кинетики. Суть его состоит в том, что свободная валентность не может исчезнуть в результате взаимодействия свободного радикала с молекулой². В целом система «молекула + радикал» имеет нечетное число электронов, и поэтому образовавшаяся в результате их взаимодействия частица (новый радикал) также будет иметь нечетное число электронов, т. е. будет обладать свободной валентностью. Этот свободный радикал вступает в реакцию с новой молекулой и т. д., в результате чего возникает цепной процесс.

Следует особо отметить возрастание роли инвариантных отношений в структуре химических теорий в связи с усилением

¹ Цит. по кн.: Г. В. Быков. История стереохимии органических соединений. М., 1966, стр. 31.

² См. Н. М. Эмануэль, Д. Г. Кнорре. Курс химической кинетики. М., 1962, стр. 22.

математизации химии. За последнее время в различных областях химии все более широко применяются математические методы, в частности теория множеств, аффинная и проективная геометрия, неевклидова геометрия и т. д.¹ Математика несет с собой инварианты, которые приобретают в области химии конкретный смысл.

Теперь сделаем несколько общих замечаний, характеризующих принципы сохранения в химии. Само определение предмета химии оказывается тесно связанным с представлением об устойчивости химических структур, о сохранении химической индивидуальности веществ. Предметом химии является химическая форма движения, поэтому Ф. Энгельс в общем определяет химию как науку о движении атомов. Но все виды движения в химической области можно разделить на три уровня, о которых говорилось выше:

а) изменение элементарного состава, б) изменение порядка взаимодействия атомов и в) изменение пространственного расположения атомов в молекуле. Естественно, что определения предмета химии должны так или иначе фиксировать наличие этих трех уровней химического движения.

Делая акцент на элементарный состав веществ, Ф. Энгельс характеризует предмет химии следующим образом: «Химию можно назвать наукой о качественных изменениях тел, происходящих под влиянием изменения количественного состава»². Существенным для химических процессов является также изменение порядка взаимодействия атомов в молекулах, молекулярных комплексах и т. п. Тогда «химией следует называть науку о превращениях веществ, происходящих с изменением порядка валентного взаимодействия между атомами»³. Наконец, химия изучает различные превращения, связанные с переходами правовращающих оптических изомеров в левовращающие и обратно.

Итак, предметом химии являются превращения веществ, обусловленные изменениями их состава, порядка взаимосвязи атомов и расположения их в пространстве. Но говорить об изменениях можно лишь тогда, когда фиксированы инвариантные аспекты структур в той или иной области. Раскрывая характер изменений в области химической организации вещества, мы

¹ См. П. Каррер. Курс органической химии. Л., 1960; «Реология». М., 1962, гл. 13, § 3; Ф. Ф. Чешко. Алгебра химических множеств. Изд-во Харьковского ун-та, 1965.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 387.

³ В. И. Кузнецов. Эволюция представлений об основных законах химии. М., 1967, стр. 307 (в тексте — курсив).

в то же время фиксируем здесь структурную устойчивость, химическую индивидуальность веществ (с точностью до изомерии и других модификаций), их качественную определенность, т. е. моменты сохранения. Мы можем сказать, что вещество сохраняет свою индивидуальность тогда, когда не изменяется его элементарный состав, порядок взаимодействия атомов и их пространственная ориентация (знак энантиоморфизма).

Все химические процессы, так же как и физические, протекают в направлении повышения устойчивости соответствующих систем — уменьшения энергии и увеличения энтропии. В замкнутых системах энергия сохраняется, поэтому рост неупорядоченности (соответственно — энтропии) идет за счет перераспределения энергии. Все самопроизвольные процессы в природе стремятся превратить упорядоченные структуры в менее упорядоченные. Мир химических реакций предстает перед нами как совокупность процессов разрушения и образования межатомных связей, равновесие которых сдвигается в сторону все большей хаотичности. В замкнутых системах будет происходить реакции, связанные с такими превращениями молекул и такими энергетическими изменениями (перераспределениями частиц и энергии), которые в конечном счете приводят к уменьшению упорядоченности. В общем можно сделать следующий вывод: «Возможна любая реакция, которая идет с выделением энергии и приводит к образованию более простых молекул, поскольку оба эти процесса увеличивают неупорядоченность во вселенной»¹.

Само объединение атомов в молекулы осуществляется вследствие того, что этот процесс идет в направлении «нарастающей устойчивости»: энергия молекулы ниже, чем суммарная энергия свободных атомов. «Атомы объединяются в молекулы потому, что в таком процессе их полная энергия понижается, причем геометрия молекулы определяется расположением атомов, которое соответствует минимальной энергии системы»².

Законы сохранения, действующие в области химических процессов, — сохранение массы, энергии, числа атомов и т. п. — сами по себе не могут объяснить химических превращений, их направления, особенностей и т. д. Но они ограничивают число возможных типов реакций, выступая в виде «правил отбора». Методологические законы сохранения в химии играют ту же роль, как и в физике.

¹ Дж. А. Кемпбел. Почему происходят химические реакции? М., 1967, стр. 124.

² Дж. Маррел, С. Кеттл, Дж. Теддер. Теория валентности. М., 1968, стр. 57.

Однако на химическом уровне принципы сохранения приобретают и специфические черты. С одной стороны, сужается круг законов сохранения, действие которых учитывается при изучении химических процессов; с другой, все большее значение приобретает сохранение типа упорядоченности, устойчивость структур и т. п. Это обусловлено возрастанием роли структурных закономерностей на химическом уровне организации материи. По мере усложнения материальных структур количественный аспект сохранения постепенно отходит на второй план, и решающее значение приобретает качественный аспект сохранения — структурная устойчивость объектов, имеющая многообразные проявления.

Специфическим проявлением количественных закономерностей сохранения на гео- и космохимическом уровне выступает периодический закон количества элементов, установленный академиком А. Е. Ферсманом в 1936 году. Этот закон был высказан при изучении закономерностей распространности химических элементов в природе — для объяснения кларков различных космохимических и геохимических систем. Одно из основных положений периодического закона Ферсмана можно сформулировать следующим образом: «Относительное количество определенного элемента (кларк) в различных частях космоса (земная кора, метеориты, атмосфера Солнца и звезд т. п.) является весьма характерной величиной, постоянной константой космической системы и данного элемента»¹.

В геохимии непосредственно учитывается устойчивость химических элементов в пределах менделеевского мира. Советский геохимик А. А. Сауков, характеризуя внутренние факторы миграции химических элементов, т. е. факторы, связанные со свойствами атомов и их соединений, отмечает их высокую стабильность. Эта стабильность обусловлена постоянством свойств химических элементов. «Действительно, такие важнейшие свойства элементов, как заряды ядер их атомов, валентности и радиусы ионов и атомов в ходе геологической истории нашей планеты, остаются, очевидно, постоянными, что обуславливает и стабильность определяемых ими химических и физических свойств соединений этих элементов. . .

Следовательно, внутренние факторы миграции химических элементов в ходе геологической истории Земли были в пределах устойчивости этих элементов теми же самыми, какими мы наблюдаем их и сейчас, так как они являются отражением стро-

¹ Б. А. Гаврусевич. Основы общей геохимии. М., 1968, стр. 259.

ения атомов, в первую очередь, их внешних электронных оболочек, которое для каждого элемента, очевидно, постоянно»¹.

Постулат однородности «химического» времени дает возможность фиксировать некоторый вполне определенный интервал времени и построить шкалу для единообразной оценки тех химических изменений, где существенную роль играет время. Химическая «кинетика использует концепцию времени, включающую единицу времени, относительно которой измеряется количество химического изменения за единицу времени. Эта единица в конечном счете зависит от определенных периодических явлений — вращения земли, ритма сердца, качания маятника, колебания балансира, вибрации в молекуле»². Одно из этих явлений принимается за истинно периодическое; пользуясь им, определяют всевозможные отрезки времени. Здесь (как и в теории измерений вообще) изменчивость находит меру в своей противоположности — в устойчивости.

Принципы сохранения, инвариантности, симметрии приобретают все большее значение в геологии, географии и других науках о Земле. Не имея здесь возможности развивать эту тему, мы все же приведем один пример, характеризующий симметрию Земли как космического тела.

Известно, что на Земле преобладают огромные ровные пространства — обширные равнины материков и грандиозные по величине равнины океанов. «Поскольку это так, — пишет известный советский геолог Б. Л. Личков, — и поскольку по весу эти две структуры и вместе с тем два уровня друг друга уравнивают, их соотношение по площади не случайность, а известное выдержанное постоянство, которое должно сохраняться во времени»³. Б. Л. Личков и другие ученые разрабатывают теорию, согласно которой незначительные изменения скорости вращения Земли, вызывающие уменьшение и увеличение ее сжатия, накапливаются за длительное время и оказывают воздействие на всю планету, стремящуюся сохранить при данной скорости фигуру равновесия. Это выражается в периодически повторяющихся перестройках структуры планеты, которые охватывают все оболочки Земли. Частью этого переформирования являются тектонические (горообразовательные) процессы. Б. Л. Личков указывает, что «тектоника является способом сохранения плана, кото-

¹ А. А. Сауков. Геохимия. М., 1966, стр. 410.

² О. Т. Бенфи. Концепция времени в химии. Сб. «Методологические проблемы современной химии». М., 1967, стр. 188.

³ Б. Л. Личков. К основам современной теории Земли. Изд-во Ленингр. ун-та, 1965, стр. 54.

рый претерпевает время от времени периодически изменение своих форм, но неизменно при всех переменах слагается из 1) диссимметрии лика планеты, 2) его гомологий и 3) антиподальности материков и океанов»¹. Специалисты считают концепцию Б. Л. Личкова весьма перспективной для дальнейшей разработки теории Земли.

4. Биологическая организация и сохранение

Высшим уровнем в развитии природы является органический мир, жизнь. Этому уровню отвечает биологическая форма движения материи и, соответственно, биологическая организация. На языке системно-структурного анализа мы говорим о биологических (живых) системах, биологических структурах и т. п.

Именно потому, что феномен жизни стоит на вершине эволюционной лестницы природы, жизнь представляет собой сложнейший комплекс материальных связей и отношений, значительно более сложный, чем известные нам системы, находящиеся на добиологических уровнях организации материи. В основе определения жизни остается формулировка Ф. Энгельса: «Жизнь есть способ существования белковых тел, и этот способ существования состоит по своему существу в постоянном самообновлении химических составных частей этих тел»². Энгельс в своем определении указывает на материальный субстрат жизни (белковые тела); он понимает жизнь как особую форму движения (жизнь как способ существования белковых тел, т. е. как процесс, поддерживающий само существование биологических систем); наконец, жизнь берется здесь в единстве структуры и функции (постоянное самообновление химических составных частей биоструктур). В свете данных современной науки, материальным субстратом жизни являются не только белки, но также нуклеиновые кислоты, фосфорорганические соединения.

Полное представление о сущности жизни можно получить лишь в результате изучения всех основных проявлений жизненного процесса. «Чтобы получить действительно исчерпывающее представление о жизни, — писал Ф. Энгельс, — нам пришлось бы проследить все формы ее проявления, от самой низшей до наивысшей»³. Действительно, в пределах биологической формы

¹ Б. Л. Личков. К основам современной теории Земли. стр. 55. См. также: Н. П. Неклюкова. Общее землеведение. М., 1967, стр. 72—73; Р. М. Деменицкая. Кора и мантия Земли. М., 1967.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 82.

³ Там же, стр. 84.

движения, биологической организации выделяются качественно специфичные уровни:

— обмен веществ как способ существования белковых тел (материальный субстрат — белковые тела);

— реактивность организмов, т. е. их реакция на действие раздражителей (организмы);

— внутривидовые отношения (виды);

— биологический круговорот веществ (биосфера).

Жизнь представляет собой целостную систему, включающую в себя эти основные формы движения органической природы¹.

Существуют и другие подходы к определению структурных уровней в области живой природы. Так, Э. Косовер выделяет шесть соподчиненных друг с другом уровней: макромолекулярный, субклеточный, клеточный, многоклеточный, организменный и надорганизменный (совокупности организмов)².

В свою очередь, в области биополимеров (биологических макромолекул) различают четыре уровня организации молекул: первичные, вторичные, третичные и четвертичные структуры, каждая из которых отличается определенным типом упорядоченности и характером связей³. Проблема уровней в области живой материи систематически исследована В. И. Кремянским⁴.

Наличие многих структурных уровней в организации живой материи — не случайность. Это — необходимое условие самого существования и развития живых систем. «Возможность относительного покоя тел, возможность временных состояний равновесия, — писал Ф. Энгельс, — является существенным условием дифференциации материи и тем самым существенным условием жизни»⁵. Развитие жизни немыслимо без относительной устойчивости (фиксации, закрепления) тех структурных уровней, которые достигнуты в ходе эволюции. Для самой эволюции, для понимания ее сущности наличие инвариантных структурных уровней имеет отнюдь не меньшее значение, чем возможность дальнейших изменений живых систем.

Живые системы отличаются чрезвычайно высоким уровнем организации, упорядоченности (и наличием многих качественно специфичных уровней), ярко выраженными признаками целостности, способностью самовоспроизведения, удивительной приспособ-

¹ См. А. И. Игнатов. Жизнь как система форм движения материи. М., 1966.

² См. Э. Косовер. Молекулярная биохимия. М., 1964, стр. 9—10.

³ См. Р. Мартин. Введение в биофизическую химию. М., 1966, стр. 270—277.

⁴ См. В. И. Кремянский. Структурные уровни живой материи. М., 1969.

⁵ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 561.

собляемостью к окружающей среде. Именно эти особенности живого определяют специфику форм сохранения в органическом мире.

Сопоставляя различные типы систем в аспекте упорядоченности, Г. Кастлер отмечает: «Для живых систем характерна высокая упорядоченность, значительно более высокая, чем у любых известных нам неживых систем. Даже простейшие живые организмы чрезвычайно сложны. Обращаясь к масштабу упорядоченных структур, мы убеждаемся в том, что дистанция между бактерией и человеком значительно меньше, чем, например, между бактерией и гигантским электронным мозгом»¹. Академик В. А. Энгельгардт считает «начало упорядоченности» важнейшим качеством всего живого².

Все процессы в неживой природе, при условии замкнутости систем, идут в направлении уменьшения степени упорядоченности, возрастания энтропии. В отличие от этого в живых системах, которые являются открытыми, поточными системами (через границы таких систем происходит материальный обмен, т. е. обмен веществом и энергией), энтропия может оставаться постоянной или уменьшаться. Сохранение динамически-упорядоченной структуры организма связано с расходом энергии.

К. Гробстайн дает следующее определение жизни, выделяя самые характерные ее признаки: «Жизнь — эта макромолекулярная система, для которой характерна определенная иерархическая организация, а также способность к воспроизведению, обмен веществ и тщательно регулируемый поток энергии, — являет собой разрастающийся центр упорядоченности в менее упорядоченной Вселенной»³.

Высокая упорядоченность биологических систем свидетельствует о возрастании роли принципов симметрии в структуре живого. Отмечая это последнее обстоятельство, Н. П. Депенчук в то же время считает, что для живых систем, в отличие от объектов неживой природы, характерно преобладание асимметрии⁴. Представление о том, что по мере структурного усложнения объектов природы их симметрия снижается, является широко распространенным. В отличие от этого Н. Ф. Овчинников высказывает полярно противоположную идею. «Научное познание, —

¹ Г. Кастлер. Возникновение биологической организации. М., 1967, стр. 13.

² См. В. Энгельгардт. Проблема жизни в современном естествознании. «Коммунист», 1969, № 3, стр. 85.

³ К. Гробстайн. Стратегия жизни. М., 1968, стр. 17.

⁴ См. Н. П. Депенчук. Симметрия и асимметрия в живой природе. Киев, 1963.

пишет он, — по нашему мнению, открывает нам все большее многообразие симметрии природы и приближает нас ко все более глубокой ее симметрии... Нам кажется, что не асимметрия, но именно симметрия является подлинной причиной природных явлений»¹. Эта идея, требующая, конечно, дальнейшего всестороннего обоснования, представляется весьма заманчивой и эвристичной. Для живых систем, по-видимому, характерны особые, очень сложные формы симметрии, которые сейчас просто еще не открыты. Все известные в настоящее время проявления асимметрии биоструктур могут оказаться элементами симметрии высших порядков.

Строгая упорядоченность процессов жизнедеятельности проявляется прежде всего в обмене веществ, благодаря которому осуществляется постоянное самообновление живых тел. Характерно, что основные механизмы обмена веществ (метаболизма) являются общими для всех живых существ. Этот факт свидетельствует о высоком постоянстве биологической организации. В. А. Энгельгардт пишет, что «на всем протяжении живого мира — от бактерий до самой высококодифференцированной ткани высшего организма — мы встречаемся с биохимическими реакциями, не только внешне сходными, скажем, по конечным эффектам, по балансовым уравнениям, но абсолютно тождественными во всех деталях многоступенчатых механизмов, в последовательности одних и тех же реакций»².

Основные принципы организации живых тел как в пространстве, так и во времени оказались чрезвычайно устойчивыми, инвариантными относительно всех трансформаций живых существ в ходе биологической эволюции. Они стабилизировались на самых ранних этапах возникновения жизни в результате естественного отбора и с тех пор стали обязательными для всего последующего развития органического мира. В процессах метаболизма обнаруживается сохранение фундаментального порядкового типа, характерного для всех форм живых существ. Подчеркнем, что это сохранение имеет динамические основы, оно связано с поточным характером биологической организации.

Как пишут Д. Грин и Р. Гольдбергер, «биохимическая универсальность создает основу для логического построения науки о жизни и делает возможным предсказание еще неизвестных

¹ Н. Ф. Овчинников. Принципы сохранения, стр. 224.

² «О сущности жизни». М., 1964, стр. 39. Подчеркивая высокую устойчивость биологической организации в отличие от постоянного самообновления вещественных элементов организма, Н. Винер писал: «Мы представляем собой не вещество, которое сохраняется, а форму строения, которая увековечивает себя» (Н. Винер. Кибернетика и общество. М., 1958, стр. 104).

явлений. Сам факт существования биохимической универсальности свидетельствует о том, что по крайней мере в течение последних двух миллиардов лет ни основные свойства, ни основные элементы живых систем не претерпели существенных изменений¹. Они полагают, что основным методом сравнительной биохимии должно быть изучение изменчивости, проявляющейся в рамках биохимической универсальности. Как видим, инвариантные свойства действительности определяют здесь соответствующую методологию исследований.

Постоянством характеризуется не только биологическая организация как таковая, но и процесс обмена веществом и энергией между организмами и окружающей их (абиотической) средой. Известный советский географ А. А. Григорьев указывает в этой связи: «При всей глубине различий форм, в которых совершается обмен между абиотическими компонентами географической среды и между ее биоконпонентами (как и между био- и абиотическими компонентами), принципиальная сущность обмена между всеми компонентами географической среды одна и та же»².

Под географической оболочкой Земли понимают (И. М. Забелин) сферу возникновения и существования жизни — биогеносферу, которая состоит из трех взаимодействующих друг с другом геосфер: литосферы (твердое вещество), гидросферы (жидкое вещество) и атмосферы (газообразное вещество). «В пределах биогеносферы вещество в любом из этих трех агрегатных состояний находится в устойчивом состоянии; в этом залог всех дальнейших эволюций»³. Биосфера составляет органическую часть географической оболочки. «Нетрудно убедиться, что при таком понимании географической оболочки повсюду в ее пределах сохраняются основные свойства...»⁴.

Из обмена веществ непосредственно вытекает способность живых тел к самовоспроизведению, которое является одной из специфических форм сохранения в органическом мире. Организмы, воспринимая из внешней среды посторонние, чуждые им по своей химической природе соединения, превращают их в вещества, тождественные тем, которые находились в них ранее (процесс ассимиляции). При этом постоянство образова-

¹ Д. Грин, Р. Гольдбергер. Молекулярные аспекты жизни. М., 1968, стр. 359.

² А. А. Григорьев. Закономерности строения и развития географической среды. М., 1966, стр. 188.

³ И. М. Забелин. Теория физической географии. М., 1959, стр. 58.

⁴ Там же, стр. 56. О биосфере см.: В. И. Вернадский. Биосфера. М., 1967; П. Дювиньо и М. Танг. Биосфера и место в ней человека. М., 1968.

ния веществ, свойственных данному живому телу, отображает собой лишь некоторый установившийся для него порядок реакций обмена — метаболический цикл. Таким образом, способностью к самовоспроизведению обладает весь метаболический комплекс, вся живая система в целом. Эта способность возникла с самого начала формирования обмена веществ как важнейший признак живого.

В ходе дальнейшей эволюции живых существ механизм самовоспроизведения значительно усовершенствовался, обеспечивая определенное постоянство состава, структуры и обмена веществ при размножении все усложняющихся живых систем. Этот шаг связан с возникновением в структуре живых систем молекул ДНК. Современные организмы имеют в своем составе два вида нуклеиновых кислот — дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК), которая сосредоточена главным образом в клеточном ядре, и рибонуклеиновую кислоту (РНК). Нуклеиновые кислоты, так же как и белки, представляют собой высокополимерные, макромолекулярные соединения. Функции ДНК и РНК весьма различны, несмотря на большое химическое сходство их молекул¹. ДНК функционально специализировалась на цикле молекулярной репликации, или редупликации (матричный синтез). При делении клетки молекулы ДНК путем репликации воспроизводят свои точные копии, в которых полностью сохраняется (если отвлечься от мутаций) прежнее, присущее исходной молекуле, расположение мономеров в цепи. ДНК обеспечивает также передачу путем репликации содержащейся в ее полинуклеотидной цепи генетической информации рибонуклеиновым кислотам. Функция последних непосредственно связана с синтезом белков.

Подчеркнем, что сохранение генетической информации есть сохранение отношений. Наследование признаков обеспечивается «передачей с помощью размножающейся ДНК отношений между аминокислотами в полипептидных цепях, которые закодированы в строго соответствующих им отношениях между нуклеотидами в ДНК»².

Механизм генетической информации (генетический код) является единым для всего живого — как в пространстве, так и во времени. «Код, по-видимому, в основных чертах одинаков у всех организмов», пишет один из создателей модели молекулярной структуры ДНК лауреат Нобелевской премии Дж. Уотсон. Имеющиеся «указания на универсальность кода у современных

¹ См. напр.: В. П. Кушнер. Биополимеры. М., 1965; С. Е. Бреслер. Введение в молекулярную биологию. М.—Л., 1966.

² Н. Жук-Вережников. Теория генетической информации. М., 1966, стр. 3.

организмов говорят о том, что генетический код оставался неизменным в течение длительного периода эволюции»¹.

Современный генетический код является результатом длительной биохимической эволюции, в ходе которой повышалась помехоустойчивость кода. «Можно думать, — пишет М. В. Волькенштейн, — что современный код — результат селективного давления естественного отбора, уменьшающего вредный эффект мутаций. Первоначальный аппарат, синтезирующий белок, был, вероятно, в основном подобен нынешнему, но более примитивен. В дальнейшем шел отбор на помехоустойчивость кода...»². Таким образом, здесь просматриваются три момента: 1) универсальность генетического кода у современных организмов; 2) большая устойчивость механизма генетической информации на протяжении эволюционного процесса и 3) возрастание в ходе эволюции надежности механизма репликации (помехоустойчивости генетического кода).

Как отмечает В. А. Ратнер, информационная дискретность наследственной памяти непосредственно связана с эволюционными механизмами возникновения и дальнейшего развития генетических систем. Элементарными актами эволюции являются дискретные непрограммированные изменения структурной основы наследственной памяти. «Таким образом, информационная дискретность (вместе с избыточностью кодирования) обуславливает высокую устойчивость генетической системы к внешним дезинтегрирующим воздействиям, но допускает использование определенной части возникших изменений наследственной памяти для отбора генетических систем с функциональными преимуществами»³.

Сопоставляя свойство самовоспроизведения, характерное для всех живых систем, с одной стороны, и мутации, которые возникают в процессе передачи генетической информации, с другой, необходимо подчеркнуть атрибутивность, фундаментальность свойства самовоспроизведения. «Мутации могут возникать только при наличии постоянного воспроизведения, — пишет американский исследователь М. Мора. — Таким образом, способность к мутациям следует считать следствием способности к воспроизведению, а не наоборот»⁴. Доминирующим признаком в этом

¹ Дж. Уотсон. Молекулярная биология гена. М., 1967, стр. 375, 374.

² М. В. Волькенштейн. Проблема генетического кода. «Природа», 1968, № 9, стр. 28.

³ В. А. Ратнер. Генетические управляющие системы. Новосибирск, 1966, стр. 172.

⁴ «Происхождение предбиологических систем». М., 1966, стр. 57.

плане является сохранение, устойчивость, а не изменчивость.

Говоря о свойстве самовоспроизведения живых систем, необходимо подчеркнуть, что феномен самовоспроизведения во всех его проявлениях имеет в своей основе молекулярную репликацию. На это обстоятельство указывает Джон Бернал в своем капитальном труде о происхождении жизни: «Согласно современным представлениям, молекулярное воспроизведение лежит не только в основе воспроизведения существующих видов, но также в основе любого аспекта биологической структуры и функции, включая метаболизм»¹.

Свойство самовоспроизведения принимает у многоклеточных организмов форму наследственности, в которой закрепляется опыт истории всех предшествующих поколений. Чем выше стоит живое существо на эволюционной лестнице, тем все более сложные формы принимает его наследственность.

У самых примитивных одноклеточных наследственность в основном сводится к сохранению постоянным свойственного им порядка обмена веществ в процессе их роста и размножения.

По мере усложнения организации живых существ все большее значение для их наследственности приобретает процесс развития, связанный со сдвигами в обмене веществ. «В цикле развития многоклеточных устанавливается определенный порядок изменения порядка обмена веществ, то, что можно обозначить как порядок второго рода. С ним-то в основном и связана наследственность у высокоразвитых живых существ. Здесь она уже не сводится только к сохранению постоянной последовательности реакций в обмене веществ, а направлена главным образом к поддержанию неизменности порядка закономерных сдвигов в обмене веществ онтогенетически развивающегося организма. Основа этого порядка сохраняется постоянной в том виде, как она сложилась в процессе филогенетического развития в длинном ряду всех предшествующих поколений»². Она отражает всю исторически сложившуюся организацию живого существа.

Любой организм в течение всей своей жизни находится в состоянии непрерывного внутреннего движения; его видимое постоянство является лишь внешним выражением исключительной согласованности противоположных ветвей обмена — ассимиляции и диссимиляции, благодаря чему на место каждой распав-

¹ Дж. Бернал. Возникновение жизни. М., 1969, стр. 29.

² А. И. Опарин. Жизнь, ее природа, происхождение и развитие. М., 1968, стр. 159.

шейся частицы белка или другого вещества становится вновь образованная частица. Таким путем организм сохраняет до известной степени постоянными свою форму и химический состав, все время изменяясь при этом материально. «Особенностью, качественно отличающей жизнь как более высокую форму движения материи, является то, что в живых телах многочисленные биохимические реакции, составляющие в своей совокупности обмен веществ, не только строго согласованы между собой во времени и в пространстве, не только сочетаются в едином порядке непрерывного самообновления, но и весь этот порядок закономерно направлен к постоянному самосохранению и самовоспроизведению всей живой системы в целом, исключительно совершенно приспособлен к решению задачи существования организма в данных условиях внешней среды»¹.

А. Г. Пасынский выделяет три основных критерия жизни: 1) наличие белковых тел; 2) наличие открытой системы и 3) наличие способности к самовоспроизведению. В этой связи он дает определение жизни, которое является вариацией классической формулировки Энгельса. «Жизнь — это способная к самовоспроизведению белковая открытая система... Можно себе представить довольно сложную открытую систему на основе белковых тел, в которой происходит много химических реакций, но если такая система лишена способности самосохранения и самовоспроизведения, она не может быть живой»².

Таким образом, жизнь представляет собой специфическую форму существования открытых белковых систем, для которой характерна способность самосохранения, самовоспроизведения, понимаемого в широком плане — как молекулярная репликация, как постоянство метаболического цикла, как наследственность и т. п.

Можно привести еще одно определение жизни: «Живые организмы, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, важнейшими функциональными веществами которых являются биополимеры — белки и нуклеиновые кислоты»³. Но способность самовоспроизведения реализуется лишь в открытых и саморегулирующихся системах. С другой стороны, этой способностью могут обладать неживые кибернетические системы. Учи-

¹ А. И. Опарин. Возникновение и начальное развитие жизни. М., 1966, стр. 9.

² А. Г. Пасынский. Биофизическая химия. М., 1968, стр. 105.

³ М. В. Волькенштейн. Молекулы и жизнь. Введение в молекулярную биофизику. М., 1965, стр. 11.

тывая это, можно дать следующее определение жизни: **Жизнь** — это высшая форма сохранения в природе, свойственная целостным системам, субстратом которых являются определенные виды высокополимеров (белки и нуклеиновые кислоты)¹. Данная формулировка, так же как и две предыдущие, является модификацией известного определения Энгельса. В свете формулировки Ф. Энгельса, жизнь рассматривается как специфическая форма движения. Но любую форму движения можно характеризовать в двух аспектах — со стороны особенностей изменения и со стороны особенностей сохранения, ибо движение на любом уровне выступает как единство устойчивости и изменчивости. Поэтому квалификация жизни как особой формы самосохранения есть характеристика ее в плане специфики форм движения.

Итак, возникновение и эволюцию жизни можно рассматривать как развитие форм сохранения — от примитивных до самых сложных. Поскольку для живых систем характерна высокая степень упорядоченности, мы можем рассматривать возникновение жизни как развитие форм упорядоченности. М. Кальвин отмечает, что строгая упорядоченность (сложность структуры) всех живых существ «представляет собой развитие той упорядоченности, которую мы должны проследить, начиная с неживых физических комплексов»². Наконец, жизнь характеризуется высшими формами отражения, и ее эволюция есть не что иное, как развитие форм отражения. Мы подходим к выяснению сущности жизни с разных сторон — через атрибуты материи, которые по мере развития самой материи выступают во все более сложных формах.

Очень важно подчеркнуть, что для живых систем характерным является высокий уровень их **целостности**. Свойствами живого обладает лишь целостная биологическая система (структура), а не отдельные ее компоненты и не простая сумма частей этой системы. «Любой компонент живой клетки, выделенный даже в самом нативном состоянии, перестает быть живым с того самого момента, когда он вычленяется из системы, обладающей всеми свойствами живого организма... Основной чертой живой системы является то, что функционирование любой ее части, структуры протекает в непрерывном взаимодействии

¹ А. А. Ляпунов определяет жизнь как «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул» («Проблемы кибернетики», вып. 10, 1963, стр. 179).

² М. Кальвин. Химическая эволюция. В кн.: «Межзвездная связь». М., 1965, стр. 39.

со всеми другими компонентами системы»¹. Можно вполне определенно сказать, что сохранение на биологическом уровне есть прежде всего сохранение целостности биологических систем (структур), т. е. сохранение определенного порядка взаимодействия всех элементов таких систем. Целостность имеет в своей основе определенный тип упорядоченности, а именно упорядоченность взаимодействия (динамическую упорядоченность).

Постоянство внутренней динамической организации живых систем обусловлено двумя факторами, неразрывно связанными между собой: (а) постоянным самообновлением их вещественного состава — трансформациями вещества и (б) трансформациями энергии, которая необходима для обеспечения всей жизнедеятельности организмов. «Поддержание сравнительно постоянной внутренней организации в условиях изменчивой внешней среды, — отмечает Дж. Ригель, — вот основная статья расхода энергии для животных»². Биоэнергетика является одним из факторов эволюции. Оказывается, что совершенствование организации живых существ в ходе эволюции связано с повышением эффективности использования ими энергии внешней среды. «Изучение эволюции наводит на мысль, что это усложнение и совершенствование организации имеет некий вполне определенный смысл. Более высокая организация наделяет живые организмы преимуществом в использовании энергии внешней среды»³. Пища, которая употребляется животными, используется ими как «топливо», т. е. источник, откуда организм черпает энергию для своей жизнедеятельности, и как «строительный материал», который включается в состав структурных и функциональных систем организма.

Устойчивость живых систем можно вполне адекватно выразить в терминах отображения. Живая система отображается на себя путем непрерывного самообновления своего вещественного состава и трансформаций энергии, сохраняя тип метаболизма, структуру и функции и т. п. Преобразование сложной динамической системы в себя за счет непрерывных трансформаций ее «элементарного» состава и «движущих сил» — это особый вид

¹ А. С. Вечер. Основы физической биохимии. Минск, 1966, стр. 4—5 (нативный — природный, натуральный). В этой связи см. работы: Г. А. Югай. Проблема целостности организма. М., 1962; В. Г. Афанасьев. Проблема целостности в философии и биологии. М., 1964; Г. П. Короткова. Принципы целостности. Изд-во Ленингр. ун-та, 1968.

² Дж. Ригель. Энергия, жизнь и организм. М., 1967, стр. 11.

³ Дж. Ригель. Энергия, жизнь и организм, стр. 10.

отображения, характерный только для живых систем. Формы отображения в области живых систем весьма многообразны. Исходной формой отображения на уровне биологической организации материи является преобразование живых систем в себя в процессах метаболизма и вообще способность самовоспроизведения, понимаемая в широком смысле. К высшим формам отображения относятся психические акты. Различные формы сохранения на биологическом уровне выступают как инварианты соответствующих преобразований, отображений.

Как отмечает А. И. Игнатов, специфичность всех уровней организации живой природы в наибольшей мере обусловлена тем, что здесь свойство отражения проявляется в новом качестве. Уже в простейшей форме реактивности живых тел — раздражимости «это качественное своеобразие отражения создает новые формы взаимодействия, использующие физико-химические энергетические процессы, но изменяющие направленность их течения в сторону самосохранения биоструктур»¹. Направленность реакций на самосохранение характерна для всех живых тел.

С проблемой сохранения мы непосредственно сталкиваемся не только при рассмотрении сущности жизни, но также при решении вопроса о возникновении и эволюции жизни.

Жизнь в условиях Земли сложилась на углеродной основе. Атомы углерода обладают способностью соединяться друг с другом. Углерод—углеродная (С—С) связь обладает высокой стабильностью, будучи сильнее или по крайней мере столь же сильной, как и связь углерода с другими элементами. «Это дает углероду возможность образовывать крупные молекулы полимеров большого молекулярного веса, достаточно стабильные в своей основе, чтобы быть устойчивыми, и достаточно нестабильные в боковых ответвлениях, чтобы быстро реагировать на колебания физических и химических свойств среды. Они подобны прочным, но чувствительным инструментам. Такие молекулы, находящиеся в состоянии непрерывного обновления, называются лабильными, и эта лабильность и составляет химическую сущность жизни»². Однако способность образовывать цепочки не является исключительно привилегией углерода, поэтому возможно возникновение жизни на иной, не углеродной, основе.

Существуют две точки зрения по вопросу о возникновении жизни. Согласно одной из них, условия, при которых зародилась на Земле жизнь, сохраняются и далее. «Если живое вещество на Земле впервые появилось абиогенным путем, естественно до-

¹ А. И. Игнатов. Жизнь как система форм движения материи, стр. 12.

² В. Фирсов. Жизнь вне Земли. М., 1966, стр. 156.

пустить, что планета это свое прежнее свойство никогда не теряла и сохранила его до настоящего времени»¹.

Другая концепция, которую развивает академик А. И. Опарин, исходит из того, что раз возникнув в специфических условиях, жизнь стала подчиняться законам эволюции, и вновь этот процесс уже никогда не повторится.

А. П. Руденко (МГУ) разрабатывает концепцию (в рамках гипотезы о возможности абиогенного синтеза живых тел в настоящее время) о постепенном развитии свойств живого в ходе добиологической эволюции каталитических систем. Переход от неживого к живому осуществляется путем последовательного совершенствования особенностей функционирования и развития элементарных каталитических систем и завершается появлением свойства точной пространственной редупликации (размножения). «Сложные каталитические системы, сохраняя все присущие им свойства, после формирования свойства точной пространственной редупликации становятся биологическими системами, живыми организмами. В отличие от простой каталитической системы сложная система, превратившаяся в живой организм и имеющая ту же энергетическую базу и способ существования, усложнена сетью взаимосвязанных с базисной реакцией сопряженных каталитических реакций и различных механизмов образования вспомогательных веществ, стабилизации, структурирования, сохранения информации, роста и редупликации»².

Согласно А. И. Опарину, в результате направленной эволюции исходных предбиологических систем (коацерватов) их устойчивость приобретала все более и более динамический характер. Коацерватные капли постепенно превращались в открытые системы, самое существование которых в данных условиях внешней среды зависело от организации совершающихся в них процессов. «Иными словами, возникали такие системы, которые на фоне постоянно протекающих в них процессов самообновления были способны к самосохранению, длительному существованию на основе постоянного взаимодействия с внешней средой. Это возникновение способности к самосохранению можно рассматривать как первый результат направленной эволюции наших исходных систем»³.

В дальнейшем способность к самосохранению, самовоспро-

¹ В. В. Кесарев. Движущие силы развития Земли и планет. Л., 1967, стр. 92.

² А. П. Руденко. Теория саморазвития открытых каталитических систем. Изд-во Моск. ун-та, 1969, стр. 231.

³ А. И. Опарин. Жизнь, ее природа, происхождение и развитие, стр. 71.

изведению все более совершенствовалась, проявляясь в виде роста, размножения простейших живых систем и т. д.

Эволюционный процесс шел в направлении отбора тех биологических систем, которые обладали наибольшей способностью к самосохранению. «Вследствие действия естественного отбора для дальнейшего существования и развития сохранялись только те исходные системы, внутренняя организация которых делалась все более и более приспособленной к постоянному самосохранению и самовоспроизведению в данных условиях внешней среды»¹. Таким путем возникла бросающаяся в глаза «целесообразность» живых существ, т. е. их приспособленность к окружающей среде, характерная для всех органических форм с момента возникновения жизни до наших дней. Ф. Энгельс писал, что «ко всем органическим телам необходимо применить одно и то же выражение, а именно: приспособление»².

Согласно учению Дарвина, эволюционный процесс протекает как процесс приспособительный, или адаптивный. Это означает, что эволюция видов и их групп осуществляется через эволюцию приспособлений к условиям среды. В определенных условиях среды, под контролем отбора отшлифовывается адаптивная форма вида, которая сохраняется в течение известного отрезка времени. «Адаптивная форма вида характеризуется известной **константностью**, равной длительности существования вида, несмотря на наличие некоторых вариантов адаптивной формы. При определенных условиях среды, в рамках которой осуществляется существование вида на протяжении геологических отрезков времени, адаптивная организация стабилизируется»³. Возникновение адаптивных форм адекватно процессам видообразования.

Главным направлением эволюции является усложнение организации биологических систем, неразрывно связанное с усложнением их функций. В связи с этим возрастает интегрированность и целостность биоструктур. Повышение организации биологических систем в ходе эволюции ведет к совершенствованию механизма приспособительных реакций, направленного на поддержание постоянства внутренней среды организма. «Внешние условия стремятся вызвать изменения, а живые организмы непрерывно приспосабливаются к этому при помощи процессов,

¹ А. И. Опарин. Жизнь, ее природа, происхождение и развитие, стр. 169.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 633.

³ З. И. Берман, К. М. Завадский, А. Л. Зеликман, А. А. Парамонов, Ю. И. Полянский. Современные проблемы эволюционной теории. Л., 1967, стр. 387.

противодействующих этим изменениям и стремящихся поддержать постоянство внутренней среды. Эта тенденция к постоянству называется гомеостазом. В процессе эволюции у высших организмов выработалась более совершенная гомеостатическая регуляция по сравнению с низшими организмами»¹.

Понятие гомеостаза, или гомеостазиса, применимо для характеристики биологических систем на различных уровнях их организации — клеток, организмов, популяций (групп особей данного вида), экологических систем (сообществ организмов, занимающих определенное местообитание) и т. д.

Устойчивость биологических систем, выражаемая понятием гомеостаза, в ходе эволюции возрастает. «Одна из главных эволюционных тенденций, очень тесно связанная с увеличением сложности, состоит в повышении степени гомеостаза у особи, в популяции и в экосистеме»². Наиболее устойчивой биологической системой является биосфера.

Понятие гомеостазиса применимо и к социальным системам. Оно переносится даже на космические цивилизации. «Можно утверждать, что и космические цивилизации представляют собой очень сложные вероятностные системы, имеющие гомеостатическую природу»³.

Принцип гомеостазиса в определенном смысле аналогичен принципу Ле Шателье в химии и его обобщенной трактовке для неживых систем. На непрестанное изменение среды организм реагирует таким образом, чтобы противодействовать эффекту каждого такого изменения; в результате этого происходит «смещение» равновесия в живой системе. Как мы знаем, аналогичный смысл имеет и принцип Ле Шателье. Заметим, что принцип Ле Шателье можно обобщить и на случай живых систем, придав ему еще более широкий смысл⁴.

И. П. Павлов считал уравнивание общим свойством материальных систем, как живых, так и неживых. Всякая система, перестраиваясь в ответ на изменения, происходящие в ней самой и в окружающей среде, сохраняет свою относительную устойчивость. Например, сложное химическое тело «может существовать как таковое благодаря уравниванию отдельных атомов и групп их между собой и всего их комплекса с

¹ К. Вилли. Биология. М., 1966, стр. 19. О различных проявлениях гомеостаза см. в кн.: А. Винчестер. Основы современной биологии. М., 1967, гл. XV.

² П. Эрлих, Р. Холя. Процесс эволюции. М., 1966, стр. 296.

³ Л. М. Гиндилис, С. А. Каплан, Н. С. Кардашев, Б. Н. Пановкин, Б. В. Сухотин, Г. Н. Хованов. Внеземные цивилизации. М., 1969, стр. 422.

⁴ См. «Лекции по биофизике». Изд-во Ленингр. ун-та, 1968, стр. 58.

окружающими условиями»¹. Приспособляемость организмов он рассматривал как частный случай уравнивания.

Одной из характеристик устойчивости биологических систем является их надежность². Понятие надежности в специальной литературе определяется через категорию сохранения. Под надежностью понимают «свойство системы сохранять свои рабочие характеристики в заданных пределах, обеспечивающих нормальную работу системы при определенных условиях эксплуатации»³.

Общие принципы теории надежности вполне применимы к биологическим системам. В целом надежность биосистем (организмов) в ходе эволюции возрастает за счет усовершенствования механизмов авторегуляции.

Разработка математических методов в биологии ведет к установлению количественных закономерностей в данной области и на этой основе — к формулировке количественных законов сохранения. Однако математические аспекты сохранения биологических систем не сводятся к количественным закономерностям сохранения в собственном смысле. Последние вообще не являются специфичными для биосистем. Существует особое направление математической биологии — реляционная биология (от лат. *relatio* — отношение), которая ставит своей задачей изучение отношений в мире живых систем и особенно — установление инвариантных отношений, характерных для всех организмов, как бы ни различались последние с точки зрения морфологической, экологической и т. д.

Реляционная биология широко использует методы топологии, теории множеств, теории групп, теории графов и др. Формулируя одно из важнейших положений теоретической и математической биологии, Н. Рашевский, крупный специалист в этой области, пишет: «Отношения между различными «биологическими свойствами» организма, такими как ощущение, локомоция, поглощение пищи, выделение, ассимиляция и т. д., характеризуют организм как целое. Эти отношения... остаются одними и теми же, т. е. инвариантны, для всех организмов, как бы последние ни различались между собой по своей физико-химической конституции»⁴.

¹ И. П. Павлов. Избр. произведения. М., 1951, стр. 135.

² См. Б. Н. Тарусов и др. Биофизика. М., 1968, стр. 446—448.

³ Я. З. Цыпкин. Адаптация и обучение в автоматических системах. М., 1968, стр. 235—236.

⁴ «Теоретическая и математическая биология». М., 1968, стр. 59.

Соответствие между процессами или биологическими свойствами высших и низших организмов можно выразить с помощью понятия эпиморфизма, т. е. одно-многозначного соответствия элементов двух множеств (эпиморфизм — вид гомоморфного отображения). Это соответствие получило название принципа биологического эпиморфизма. «Таким образом, — указывает Н. Рашевский, — мы находим, что различные организмы эпиморфно отображаются друг на друга. При таком эпиморфном отображении основные отношения, характеризующие организм как целое, сохраняются»¹. Разрабатываются количественные критерии целостности биологических систем². Целостность является одним из инвариантных аспектов системы, поэтому установление количественных критериев целостности было бы вкладом в изучение закономерностей сохранения, действующих на уровне биологической организации. Большое значение для раскрытия закономерностей самовоспроизведения живых систем имеет разработка математических моделей самовоспроизведения³.

Весьма интересными и перспективными для разработки принципов сохранения в биологии и проблемы сохранения вообще нам представляются идеи, развиваемые Ю. А. Урманцевым⁴. Исходя из самых общих соображений (признание структурности в качестве атрибутивного свойства материи и некоторых «аксиом структурности»), Ю. А. Урманцев намечает контуры своеобразной «общей теории структур» и, соответственно, общей теории инвариантов. Формальным (математическим) аппаратом служит при этом комбинаторика, а основными категориями — полиморфизм и изоморфизм, которые понимаются в самом широком смысле. В качественном виде суть всей концепции выглядит довольно просто: 1) в любой структуре выделяются три инвариантных аспекта: (а) число элементов, (б) состав элементов и (в) отношения между элементами, — от которых (этих трех аспектов) зависит целостность структуры; 2) рассматривается (конечное) множество структур по этим трем признакам и их сочетаниям, где и выявляются отношения изоморфизма и полиморфизма как весьма общие структурные закономерности. Содержание теории можно изложить на языке отображений. Все изоморфы и все полиморфы — это классы объектов, которые

¹ «Теоретическая и математическая биология». М., 1968, стр. 59.

² См. «Проблема целостности в современной биологии». М., 1968, стр. 131.

³ См. «Математические проблемы в биологии». М., 1966, стр. 36.

⁴ См. Ю. А. Урманцев. Поли- и изоморфизм в живой и неживой природе. «Вопр. филос.», 1968, № 12.

(объекты в пределах данного класса) в определенном отношении тождественны друг другу и в то же время отличаются друг от друга.

На этой основе Ю. А. Урманцевым установлены некоторые количественные соотношения, сохраняющиеся при взаимных переходах биоизомеров.

Отметим в этой связи, что в настоящее время намечаются новые подходы к изучению свойств симметрии. До сих пор свойства симметрии рассматривались на основе теоретико-групповых представлений. Однако уже сейчас становится ясным, что все модификации симметрии не могут быть выражены на языке теории групп. Дальнейшее развитие представлений о симметрии мыслится на основе использования методов теории конечных множеств (комбинаторики), теории вероятностей, теории информации¹.

Исследование внутриклеточных регуляторных процессов привело к установлению количественных законов сохранения, в которых фигурируют величины, отражающие специфику биологических процессов. Используя математический аппарат классической физики и вводя особые биологические величины, аналогичные физическим переменным, Б. Гудвин развивает теорию, в основе которой лежат специфические законы сохранения. «Наша программа состоит в следующем, — пишет он. — Сначала мы выведем законы сохранения, или инварианты, для одного частного класса биохимических регуляторных систем. Затем построим статистическую механику для систем такого рода и исследуем макроскопическое поведение подобной системы, пользуясь переменными состояния, аналогичными физическим переменным — энергии, температуре, энтропии, свободной энергии и т. д. В итоге будет сформулирована система понятий с чисто биологическим содержанием...»²

Попытки перекинуть мост между молекулярной биологией и физиологией, указывает Б. Гудвин, связаны с большими трудностями, а именно с необходимостью применения математического аппарата, который сейчас еще слабо разработан. В этой связи он ставит вопрос о том, что внутриклеточные процессы можно адекватно выразить, лишь прибегая к новым законам сохранения, которые до сих пор в естествознании не фигурировали. Речь идет о новом типе законов сохранения. Все аддитивные законы сохранения, известные в физике, являются

¹ См. Ю. А. Урманцев. О видах диссимметрии в природе. «Биофизика», т. 8, вып. I, 1963; А. Д. Урсул. Природа информации. М., 1968, § 12.

² Б. Гудвин. Временная организация клетки. М., 1966, стр. 31—32.

интегральными инвариантами; в биологии ставится вопрос о необходимости рассмотрения инвариантных мер¹.

Для биологических объектов характерны неметризуемые свойства, к которым неприменимы понятия количества, расстояния, длины и т. п. Это требует для адекватного описания биологических систем особого математического аппарата, особого «языка», на основе которого будут формироваться исходные понятия теоретической биологии. Неметрическая, неколичественная математика существует уже давно в виде таких ее направлений, как теория вероятностей и топология. Современные ее разделы — теория алгоритмов, теория информации, теория автоматов, теория игр, теория графов. Обобщаются понятия множества и функции на объекты существенно неметрического характера («категории», «функторы»). Есть основания полагать, что математические модели биологических процессов будут строиться с помощью неметризуемых математических объектов².

В процессе обобщения основных математических понятий на область неметризуемых объектов сохраняется фундаментальная роль понятия отображения. Функтор является отображением одной категории в другую. Но с любым видом отображения (преобразования) связано существование инвариантов³. Можно думать, что неколичественные инварианты станут моделями свойств сохранения в области биологических процессов.

Исторически принципы сохранения разрабатывались применительно к физическим и химическим системам, которые отличаются гомогенной структурой. Бурное развитие теоретической и математической биологии ставит вопрос о новом типе законов сохранения. Большинство сохраняющихся физических величин являются величинами аддитивного типа; законы сохранения этих величин математически выражаются в виде интегральных инвариантов (численное значение такой величины, полученное в результате суммирования, арифметического или алгебраического, значения этой величины для всех

¹ Б. Гудвин. Временная организация клетки. М., 1966, стр. 32.

² См. И. А. Акчурина, М. Ф. Веденов, Ю. В. Сачков. О методологических проблемах математического моделирования в биологии. В кн.: «Математическое моделирование жизненных процессов». М., 1968.

³ Приступая к характеристике категорий и функторов, П. Кон пишет: «В алгебре, как и в топологии, часто приходится рассматривать множества с некоторым строением и с некоторыми отображениями между ними, сохраняющими данное строение. Существует ряд основных понятий, общих для всех таких ситуаций, и уместно определить их в более общем случае» (П. Кон. Универсальная алгебра. М., 1968, стр. 49—50). Результатом обобщения в этой области и являются понятия категории и функтора.

частей системы — при условии замкнутости самой системы — не изменяется во времени).

Биологические системы отличаются высокой гетерогенностью, наличием качественно своеобразных уровней организации, способностью к самовоспроизведению и к самоусложнению и т. д., поэтому закономерности сохранения носят здесь более сложный характер. От интегральных инвариантов требуется переход к рассмотрению инвариантных мер, т. е. к теории меры и интегрирования на пространствах общей природы, которая тесно связана с теорией вероятностей¹. «Мера» является одним из специфических видов отображения, поэтому теория инвариантных мер может быть развита в терминах отображения.

Закономерности сохранения характерны для всех уровней биологической организации материи — от субклеточного до планетарного (биосфера). Как увидим далее, идея устойчивости биологических систем отнюдь не противоречит идее эволюции органического мира.

Новые аспекты сохранения биологических систем раскрываются в свете идей кибернетики, в частности, теории информации. Упорядоченность структуры живых систем связана с их информационным содержанием, которое в стационарных условиях существования организма является постоянной величиной. Процесс биологической эволюции и адаптации характеризуется возрастанием информационного содержания биоструктур².

Вообще сущность жизни нельзя понять, не рассматривая информационного аспекта биоструктур. Как пишет академик В. А. Энгельгардт, «в основе жизни лежит сочетание трех потоков: потока вещества, потока энергии и потока информации. Они качественно глубоко различны, но сливаются в некое единство высшего порядка, которое можно было бы охарактеризовать как «биотическое триединство», составляющее динамическую основу жизни»³.

При этом для всех трех потоков характерны свои принципы сохранения. Необходимо особо подчеркнуть роль генетической информации и механизмов, обеспечивающих ее сохранение, ибо «основное условие существования живой материи во всех ее формах — воспроизведение и сохранение наслед-

¹ По теории меры см., напр.: Ж. Невё. Математические основы теории вероятностей. М., 1969.

² См. К. С. Тринчер. Биология и информация. М., 1964, стр. 52.

³ «Коммунист», 1969, № 3, стр. 86. См. также: В. А. Энгельгардт. Проблема жизни в современном естествознании. В кн.: «Ленин и современное естествознание». М., 1969; М. М. Камшилов. Принципы организации живой природы. «Природа», 1969, № 2.

ственной информации, записываемой природой с помощью нуклеотидного алфавита (нуклеотидного кода)»¹.

Если бросить общий взгляд на закономерности сохранения в биологии, то можно сказать, что на биологическом уровне принципы сохранения приобретают новые, специфические черты. Биологические системы являются самоорганизующимися системами², а биологическая организация — **самоорганизацией**. Переходу от «организации» (добиологические системы) к «самоорганизации» в плане принципов сохранения соответствует переход от сохранения к самосохранению. Все закономерности сохранения на биологическом уровне, по-видимому, должны быть так или иначе связаны с этой специфической особенностью живых систем. Основное значение имеют здесь качественные аспекты сохранения — многообразные неколичественные инварианты биосистем.

Интересно отметить, что механизмы самосохранения живых веществ нацелены на сохранение жизни как родового явления, т. е. жизни в целом. «Несмотря на то, что существование — высшая субъективная ценность всех живых существ, в них заложена способность заботиться о поддержании жизни в целом и сохранении ее места в природе с большей силой, чем за сохранение индивидуального существования. Это достигается отображением объективной целесообразности в субъективных свойствах, желаниях и поведении живых существ. Подтверждением сказанного может служить хорошо известная способность человека и животных жертвовать собой при защите потомства»³. Жизнь может существовать и сохраняться только как родовое явление; этим объясняется ориентация живых существ на сохранение рода.

5. Проблема сохранения в кибернетике

Высшей формой движения и высшей формой организации являются социальная форма движения и социальная организация. Социальные (общественные) системы обладают наиболее выраженными свойствами самоорганизации, а потому и самосохранения. Однако анализ социальных систем в нашу задачу не входит.

¹ Ж. А. Медведев. Молекулярно-генетические механизмы развития. М., 1968, стр. 7.

² См. «Принципы самоорганизации». М., 1966.

³ Г. Ф. Хильми. Основы физики биосферы. Л., 1966, стр. 296.

Мы рассмотрим в плане свойств сохранения некоторые проблемы кибернетики, которая занимается изучением «общих вопросов, относящихся к управлению и функционированию, связи и логическим операциям самоуправляющихся биологических (живых), технических (искусственных) и социально-экономических (общественных) систем, а также вопросов, непосредственно относящихся к сфере сознания»¹. К числу основных идей и проблем кибернетики относят принцип обратной связи, теорию информации, проблемы, связанные с созданием машин, моделирующих мышление человека, способных к самоорганизации, самообучению и т. д.

Кибернетика рассматривает процессы управления в сложных динамических системах. Под сложной динамической системой (СДС) понимают такую систему, которая имеет большое число параметров с нелинейными зависимостями² и состоит из множества простых элементов, взаимодействующих друг с другом весьма сложным образом и придающих тем самым системе в целом новое качество, отсутствующее у элементов данной системы. Именно такими системами являются живые организмы, социальные системы и высшие автоматы. Согласно определению академика А. И. Берга, **управление** — это процесс перевода сложной динамической системы из одного состояния в другое путем воздействия на ее переменные³. Выделяя различные аспекты процесса управления, можно определить категорию управления как перевод СДС из менее упорядоченного (менее организованного) в более упорядоченное (более организованное) состояние и как перевод СДС из более вероятного в менее вероятное состояние.

С проблемой сохранения, инвариантности кибернетика столкнулась еще в «эмбриональный» период своего существования, т. е. в период зарождения ее основных идей. Центральной идеей кибернетики является идея о статистическом подходе к проблемам организации, управления и связи.

Основоположник кибернетики Норберт Винер в своей автобиографической книге «Я — математик» показывает, как постепенно вызревала в его работах эта идея. Он пишет, что «мы

¹ В. Д. Моисеев. Центральные идеи и философские вопросы кибернетики. М., 1965, стр. 46 (в тексте — курсив).

² Нелинейные зависимости характерны отсутствием пропорциональности величин.

³ См. «Кибернетику — на службу коммунизму», т. I. М.—Л., 1961, стр. 29.

должны рассматривать организацию как нечто обладающее взаимосвязью между отдельными частями, причем взаимосвязь эта не единообразна. Связи между одними внутренними частями должны играть более важную роль, чем между другими, иными словами, связи внутри организации не должны быть абсолютно устойчивыми, чтобы строгая определенность одних ее частей не исключала возможности изменения каких-то других. Эти изменения, различные в различных случаях, неизбежно носят статистический характер, и поэтому только статистическая теория обладает достаточной гибкостью, чтобы в своих рамках придать понятию организации разумный смысл»¹.

Применение статистических методов в теории сообщений требует разработки соответствующей теории инвариантов (онодородность сообщения во времени, статистическое равновесие и т. п.)². Решение этого вопроса связано с теорией инвариантных мер, о которой говорилось выше при рассмотрении биологических закономерностей сохранения. Это совпадение не случайно, ибо кибернетика изучает функционирование сложных динамических систем, к которым относятся и живые системы.

Разрабатывая математические основы кибернетики, Н. Винер использует идеи статистической механики и многих разделов математики — теории вероятностей, теории множеств, теории групп и т. д. Он особо отмечает работы советских математиков академиков А. Н. Колмогорова, Н. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова. А. Н. Колмогоров независимо от Винера получил важнейшие математические результаты, которые позднее легли в основу кибернетики.

В предисловии ко второму изданию «Кибернетики» Н. Винер отмечает: «Когда я писал «Кибернетику» в первый раз, главное препятствие для меня заключалось в том, что понятия статистической теории информации и управления были тогда новы и даже в какой-то мере противоречили установившимся взглядам»³. Речь шла о строгом, математическом обосновании нового типа закономерностей — **статистических закономерностей** в их применении к процессам управления и связи. Законы — это устойчивые, сохраняющиеся, повторяющиеся отношения. Такие отношения должны быть найдены и в мире случайных, вероятностных (стохастических) процессов, хаос должен быть упоря-

¹ Н. Винер. Я — математик. М., 1964, стр. 309.

² См. Н. Винер. Кибернетика, гл. I—III.

³ Н. Винер. Кибернетика, стр. 29.

дочен, иначе в этой области невозможны будут никакие предсказания¹.

Устойчивость отношений выступает здесь в виде статистической устойчивости (статистического равновесия), которая входит в структуру теории сообщений в виде соответствующих инвариантов. В математической теории связи (теории информации) рассматриваются **эргодические источники сообщений**, которые обладают свойствами инвариантности. Для эргодических источников сообщений характерны два момента:

а) статистические закономерности сообщения не меняются по длине сообщения, т. е. во времени (инвариантность относительно сдвигов во времени);

б) статистические закономерности, полученные при исследовании одного сообщения, справедливы для всех сообщений, создаваемых этим источником (инвариантность относительно перехода от одного сообщения к другому)².

Статистическая устойчивость сообщений дает возможность сравнивать процессы сообщения, связи, управления, протекающие в различных системах, и на этой основе раскрывать единые закономерности функционирования сложных динамических систем. Так возникла кибернетика, которую Н. Винер определяет

¹ Напомним основные положения из теории стационарных случайных функций, раскрывающие инвариантные свойства и отношения в области случайных событий. «Стационарными обычно называются такие процессы и объекты, определенные характеристики которых не зависят от времени наблюдения, т. е. не изменяются при произвольном сдвиге во времени (инвариантны относительно любых сдвигов во времени.) В соответствии с этим случайная функция $X(t)$ называется **стационарной**, если определенные вероятностные характеристики случайной функции $X(t+\Delta)$ при любом Δ тождественно совпадают с соответствующими характеристиками случайной функции $X(t)$ ». Полная стационарность означает, что «все без исключения вероятностные характеристики случайной функции инвариантны относительно произвольных сдвигов по оси независимой переменной». И, наконец, — об эргодических свойствах случайных функций. «Стационарные случайные функции, для которых вероятностное осреднение по множеству всех возможных реализаций при вычислении математических ожиданий можно заменить простым осреднением по времени одной произвольно взятой реализации, называются **эргодическими**» (В. С. Пугачев. Введение в теорию вероятностей. М., 1968, стр. 220, 221, 263).

Отметим также замечательное свойство случайности содержать в себе все возможные варианты событий (равновероятность событий). Оказывается, только «случайный мир» может обеспечить качественное сохранение форм движения в смысле Энгельса. Случайность и здесь выступает как форма проявления необходимости. Как видим, проблема сохранения тесно связана с вероятностными закономерностями.

² См. Дж. Пирс. Символы, сигналы и шумы. М., 1967, гл. 3; П. Биллингсли. Эргодическая теория и информация. М., 1969.

как аналитическое изучение изоморфизма структуры сообщений в механизмах, организмах и обществах. Изоморфизм есть вид эквивалентности, и речь идет здесь об эквивалентности структуры (структуры порядка) сообщений в различных сложно организованных системах. Закономерности связи и управления инвариантны относительно перехода от одной такой системы к другой. Мы видим, как в структуре самой теории связи и управления фиксируются различные аспекты устойчивых, сохраняющихся, инвариантных отношений, на которых строится все здание кибернетики.

Анализ проблемы статистической устойчивости приводит Н. Винера к обобщениям самого широкого порядка. Он приходит к выводу о статистическом преобладании устойчивости во вселенной, о том, что «устойчивость свойственна большей части мира»¹. Неустойчивые формы проходят столь быстро (в масштабе соответствующих процессов), что мы не можем их фиксировать. В природе имеются два вида естественного отбора: «через разрушение непригодного и через слишком поспешное прохождение по неустойчивому — последний есть единственно возможный при явлениях сохранения, препятствующих простому устранению неустойчивого»².

Здесь просматриваются новые, неисследованные еще проявления единства сохранения и изменения, новые формы инвариантности.

Управление всегда осуществляется на основе приема, сохранения (хранения), передачи и переработки информации. Н. Винер связывает понятие информации с упорядоченностью и организацией. Он подчеркивает, что информация по своей природе не является ни материей, ни энергией. Это справедливо в том смысле, что информация не является какой-то вещью или особой формой движения (энергии), хотя информация и неотделима от материальных процессов того или иного рода.

Средства хранения информации называются памятью кибернетической системы. «Память можно определить как способность организованной материи селективно фиксировать и сохранять во времени следы внешних воздействий и при определенных условиях полностью или частично воспроизводить эти следы»³.

¹ Н. Винер. Кибернетика, стр. 298.

² Там же.

³ Л. П. Крайзмер. Хранение информации в кибернетических системах. В сб.: «Информация и кибернетика». М., 1967, стр. 126.

Общую формулу количества информации дал К. Шеннон в 1949 г. Он понимает информацию как фактор, устраняющий неопределенность выбора. При таком подходе в качестве меры информации рассматривается мера неопределенности выбора (H) из событий с вероятностями p_1, p_2, \dots, p_n .

Эта величина имеет вид:

$$H = -K \sum_i^n p_i \log p_i, \quad (23)$$

где K — постоянная, от которой зависит единица измерения. Величина H по своей форме аналогична энтропии, определяемой в статистической механике; ее называют энтропией вероятностей. Данное выражение рассматривается как формула количества информации¹.

Информация противостоит неопределенности, неупорядоченности, энтропии. Здесь энтропия понимается в самом широком смысле — как вероятностно-статистическая характеристика степени дезорганизации системы. Информация представляет собой отрицательный вклад в энтропию. Величину, равную по модулю энтропии, но противоположную по знаку, называют негэнтропией. Согласно Л. Бриллюэну, негэнтропия эквивалентна информации².

Важнейшую роль в развитии статистической теории информации сыграли работы академика В. А. Котельникова. Еще в 1933 г. он сформулировал и доказал теорему, согласно которой непрерывный сигнал с ограниченным спектром частот можно передавать в виде серии прерывных³. Непрерывный сигнал рассматривается здесь как множество прерывных. Любой случайный процесс, спектральная плотность которого обращается в нуль вне некоторого конечного интервала, может быть без потери информации передан своими значениями в ограниченном числе точек. Таким образом, теорема Котельникова есть своеобразная теорема о сохранении информации, которая дает возможность свести рассмотрение непрерывных процессов с ограниченным спектром частот к изучению процессов с дискрет-

¹ Общие свойства информации (аддитивность, инвариантность и т. п.) рассматриваются в кн.: С. Кульбак. Теория информации и статистика. М., 1967, гл. 2.

² См. Л. Бриллюэн. Научная неопределенность и информация. М., 1966, стр. 33.

³ См. В. А. Котельников. Теория потенциальной помехоустойчивости. М., 1956.

ным временем. Методологической основой этой теоремы является принцип единства и тождества (совпадения, взаимоперехода) противоположностей: непрерывное и дискретное переходят друг в друга с сохранением информации.

За последнее время наметились более широкие подходы к пониманию информации, чем вероятностная (статистическая) ее трактовка. Новые идеи в этом направлении развивают У. Росс Эшби, В. М. Глушков и другие ученые¹.

«Самым фундаментальным понятием кибернетики является понятие «различия», означающее, что либо две вещи ощутимо различны, либо одна вещь изменилась с течением времени»². Этому должно соответствовать понимание информации как меры различия, разнообразия. Если категорию упорядоченности понимать в самом широком смысле — как конкретизацию категории различия (т. е. если считать, что в любом различии есть элемент упорядоченности), то трактовка информации как меры упорядоченности и понимание ее как меры разнообразия по своему существу совпадают. Отметим, что информация, понимаемая в широком смысле, тесно связана с отображением как всеобщим свойством материи. А. Д. Урсул берет в основу общего определения понятия информации два признака — связь информации с разнообразием (различием) и связь ее с отображением. В соответствии с этим информация определяется как отраженное разнообразие. При этом рассматривается как отображение одного объекта на другой, так и отображение объекта на себя³.

Сохранение информации в качественном и количественном плане непосредственно связано с сохранением упорядоченности, разнообразия в той или иной системе. Вселенная «в целом» (если такая модель вселенной вообще правомерна) представляет собой бесконечную саморазвивающуюся систему, в которой движение сохраняется не только количественно но и качественно. На это специально обращал внимание Ф. Энгельс. Мировой процесс в ходе бесконечных превращений обладает способностью «воспроизводить» самое себя, т. е. свои качественные специфические формы движения, а значит и типы упорядоченности, разнообразия. Принцип возрастания энтропии, означающий снижение упорядоченности, потерю информации, не является для мира абсолютным. По отношению к миру в целом — это локальный принцип. Как видим, положение о количественной и ка-

¹ См. А. Д. Урсул. Природа информации. М., 1968, гл. I—II.

² У. Росс Эшби. Введение в кибернетику. М., 1959, стр. 23.

³ См. А. Д. Урсул. Природа информации, стр. 284.

чественной неуничтожимости движения ведет к выводу о сохранении информации как меры упорядоченности, меры разнообразия.

Таким образом, сохранение информации «в большом» тесно связано с принципом сохранения материи и движения, поскольку движение неотделимо от материи. Однако принцип сохранения информации сейчас можно сформулировать лишь абстрактно-логически. Мы не располагаем еще такой фундаментальной мерой информации, какой является, например, энергия как мера движения.

Вопрос о существовании специфических законов сохранения в области сообщений волнует многих исследователей. Так, А. А. Харкевич пишет, что «несмотря на быстрые темпы развития, общая теория связи не получила еще завершения в своих основных построениях. Обращает на себя внимание, в частности, отсутствие до настоящего времени системы основных законов типа законов сохранения, характерных для многих сложившихся отраслей знаний. Наличие подобного рода законов, специфичных для связи, интуитивно ощущается. Однако эти законы еще не найдены и не сформулированы»¹.

Обсуждая проблему сохранения в области теории сообщений, И. Б. Новик ставит вопрос о существовании суммарного сохранения информации и шума в замкнутой системе:

$$I + N = \text{const}, \quad (24)$$

где I — величина, характеризующая информацию;

N — величина, характеризующая шум внутри системы.

Сигнал (информация) и помеха (шум) обладают общими свойствами как вероятностные величины, и это дает определенные основания рассматривать вопрос об их суммарном сохранении².

Аналогично этому Ю. Г. Антомонов говорит о существовании закона сохранения организации. Для замкнутой системы, находящейся на любом уровне организации, сумма реализованной неопределенности (организации) и нереализованной неопределенности (дезорганизации) равна постоянной величине:

$$O(k) + H(k) = \text{const}, \quad (24a)$$

где $O(k)$ и $H(k)$ — соответственно величины абсолютной организации и неопределенности системы, находящейся на k -ом

¹ А. А. Харкевич. Очерки общей теории связи. М., 1955, стр. 89.

² См. И. Новик. Кибернетика. М., 1963, стр. 75—76.

уровне организации¹. Оба автора, И. Б. Новик и Ю. Г. Антомонов, ссылаются при этом на голландского ученого Схоутена, который высказал мысль о том, что «эксперимент изменяет знание и незнание на равные величины, но с противоположными знаками. Таким образом, полная сумма незнания и знания остается неизменной»².

В основаниях кибернетики, как и всякой другой науки, обнаруживаются принципы сохранения, которые входят в структуру теории в явном или неявном виде. По определению У. Росс Эшби, кибернетика как наука о механизмах управления и связи является своеобразной «теорией машин», но она интересуется только поведением машин, а не их материальным составом. Кибернетика примерно так же относится к реальным машинам — механическим, электронным, биологическим, экономическим, — как геометрия к реальным объектам в нашем земном пространстве. «Ее предметом является область «всех возможных машин», и лишь во вторую очередь она интересуется тем, что некоторые из этих машин еще не созданы ни человеком, ни природой»³. Лишь после достаточно полного изучения возможных отношений между машинами кибернетика переходит к рассмотрению форм, действительно существующих в какой-либо конкретной области действительности.

Но функционирование, поведение любой машины может быть вполне адекватно выражено на языке **преобразований**⁴. Всю последовательность состояний, которую проходит машина, можно представить как преобразование одного состояния в другое, отображение одного состояния на другое. Эшби определяет понятие «машина» как любое множество состояний, изменения которых во времени соответствуют замкнутому однозначному преобразованию.

Каждое состояние машины является операндом по отношению к следующему за ним во времени состоянию — его образу, который играет роль операнда по отношению к новому состоянию и т. д.:

$$O_1 \rightarrow O'(O_2) \rightarrow O''(O_3) \rightarrow \dots \rightarrow O^{n-1}(O_n), \quad (25)$$

где O_n — набор операндов;
 O^{n-1} — набор образов.

¹ Ю. Г. Антомонов. Системы. Сложность. Динамика. Киев, 1969, стр. 27.

² «Теория передачи сообщений». М., 1957, стр. 26.

³ У. Росс Эшби. Введение в кибернетику, стр. 15.

⁴ См. там же, стр. 49—50.

В том случае, когда машина представляет собой «черный ящик», т. е. ее внутренняя структура нам неизвестна, мы можем рассматривать отображение множества всех входов на множество выходов.

Итак, кибернетическую машину можно представить как совокупность некоторых преобразований. В отличие от обычных машин, преобразующих один вид энергии в другой, кибернетические машины являются машинами по преобразованию информации. Но каждому преобразованию соответствуют свои инварианты, ибо «преобразований вообще» не бывает.

В определенном смысле можно сказать, что в основе функционирования кибернетических машин как сложных динамических (самоуправляемых) систем лежат принципы инвариантности. В отличие от простейших материальных систем кибернетические машины обладают более выраженными признаками инвариантности, с одной стороны, и лабильности, динамичности, с другой.

Выше отмечалось, что для структуры сообщений, которые рассматриваются в статистической теории связи и управления, характерны эргодические инварианты. Для кибернетических устройств, моделирующих работу мозга, существенны топологические свойства, а значит и топологические инварианты, ибо эти модели должны быть топологически сходны с мозгом¹. Сама кибернетическая система в процессе функционирования должна сохранять свою целостность, в противном случае она утратит свое качество самоуправляемой системы. Сохранение структуры (структуры порядка) и функций, т. е. сохранение целостности, — это «интегральный» инвариантный аспект сложной динамической системы. Все изменения параметров данной системы, все преобразования не должны выходить за рамки допустимых изменений, допустимых преобразований. Сами процессы управления в сложных динамических системах нацелены на самосохранение систем в изменяющихся условиях внешней среды. «Управление, — отмечает Б. С. Украинцев, — это процесс самообеспечения самоуправляемой системой внутренних и до некоторой степени внешних условий ее сохранения и дальнейшего развития как функционирующей системы»².

Специфическим видом преобразования в кибернетике является кодирование (любой код задается некоторым преобразованием). Согласно К. Шеннону, кодирующая система может

¹ См. Ф. Розенблатт. Принципы нейродинамики. М., 1965, стр. 27, 46—49.

² Б. С. Украинцев. Отображение в неживой природе, стр. 225.

уменьшить, а в лучшем случае сохранить имеющуюся информацию. Однако в обоих случаях в процессе кодирования сохраняется нечто инвариантное, поскольку имеет место передача какого-либо сообщения.

У. Росс Эшби отмечает повсеместность кодирования и приводит пример, показывающий роль процессов кодирования во взаимодействии организма (человека) со средой. Он описывает последовательность событий, происходящих при передаче по радио предупреждения о шторме. «Это предупреждение возникает первоначально в форме определенного процесса в нервных клетках метеоролога, а затем переходит в форму мышечных движений и, по мере того как метеоролог пишет или печатает, превращается в чернильные знаки на бумаге. Затем оно принимает форму светлых и темных участков на сетчатке диктора, затем форму возбуждения сетчатки, затем форму нервных импульсов в зрительном нерве и т. д. через всю нервную систему. Когда диктор читает предупреждение, оно выступает в форме движений губ и языка, а затем движется в виде колебаний воздуха. Достигнув микрофона, оно переходит в форму изменений электрического напряжения, а затем претерпевает дальнейшие изменения по мере того, как оно усиливается, модулируется и передается по радио. Теперь оно имеет форму волн в эфире, а далее — форму состояния приемника. Вернувшись в форму звуковых волн, оно принимает затем форму колебаний, проходящих барабанные перепонки, слуховые косточки и улитки слушателя, и далее форму нервных импульсов, движущихся по слуховому нерву. Здесь мы можем оставить его, заметив только, что уже в этом кратком обзоре упоминается не менее шестнадцати основных преобразований, причем нечто сохраняется, проходя через все эти преобразования, хотя внешняя видимость его изменяется почти до неузнаваемости»¹.

При кодировании посредством взаимно однозначного преобразования разнообразие, а значит и количество информации, не изменяется. Иначе можно сказать, что обратимое кодирующее устройство (осуществляющее как кодирование, так и декодирование) сохраняет информацию неизменной. Как отмечает Л. Бриллюэн, теорема Шеннона, приведенная выше (кодирующая система может либо уменьшить, либо сохранить имеющуюся информацию), сходна с положением в термодинамике, где обратимый процесс не изменяет энтропии, а при необратимом процессе энтропия всегда возрастает².

¹ У. Росс Эшби. Введение в кибернетику, стр. 199—200.

² Л. Бриллюэн. Наука и теория информации. М., 1960, стр. 50.

Коды с исправлением ошибок являются примером самовосстанавливающихся систем. К. Шеннон доказал, что для любого канала связи с любым уровнем ошибок всегда можно построить такой самокорректирующийся код, который обеспечит надежность передачи сообщений сколь угодно близкую к абсолютной. Избыточность кодов обеспечивает их неизменность даже при действии значительных случайных помех.

В свете идей кибернетики раскрываются новые подходы к анализу проблемы устойчивости (сохранения). У. Росс Эшби предпринимает попытку выяснить все основные значения термина «устойчивость», подчеркивая, что за этим понятием стоят идеи, имеющие огромное практическое значение¹. Конечно, классификация Эшби далеко не полна, если ставить задачу действительно всестороннего рассмотрения категории устойчивости, однако она представляет большой интерес.

На первое место Эшби ставит инварианты как наиболее общее выражение понятия устойчивости. Далее идут состояния равновесия, циклы и т. п. В конце этого ряда стоит гомеостат — машина с ярко выраженными признаками устойчивости. Мы не будем разбирать всех проявлений устойчивости; приведем лишь общую оценку, которую дает Эшби идее инвариантности, а затем кратко рассмотрим представления, связанные с гомеостатом. «Через все значения слова «устойчивость», — пишет Эшби, — проходит основная идея «инвариантности». Эта идея состоит в том, что хотя система в целом претерпевает последовательные изменения, некоторые ее свойства («инварианты») сохраняются неизменными. Таким образом, некоторое высказывание о системе, несмотря на непрерывное изменение, будет неизменно истинным»². Понятие инвариантности конкретизирует представления об устойчивости, охватывая в то же время все проявления устойчивости в окружающем нас мире. Саму устойчивость (сохранение) можно рассматривать как инвариант определенных изменений.

Гомеостат, сконструированный Эшби, представляет собой машину, которая в определенном смысле не делает ничего, кроме того, что движется к состоянию равновесия. Устройство и поведение гомеостата подробно описаны Эшби в его книге «Конструкция мозга»³. Идея создания гомеостата преемственно связана с концепцией гомеостазиса, известной в физиологии с 30-х годов текущего столетия.

¹ См. У. Росс Эшби. Введение в кибернетику, гл. 5.

² У. Росс Эшби. Введение в кибернетику, стр. 109.

³ У. Росс Эшби. Конструкция мозга. М., 1964, гл. 8.

Гомеостат Эшби моделирует ряд физиологических и психических функций живых организмов, в частности, способность к адаптации. Эшби относит гомеостат к классу ультрастабильных систем. Возможность моделирования с помощью гомеостата некоторых особенностей поведения живых организмов говорит о том, что принципы ультрастабильности характерны прежде всего для самих живых систем.

Однако гомеостат Эшби, как отмечает французский ученый Поль Косса, в отличие от живых существ не способен к обучению; он делает только то, что предусмотрено при его создании. «Для живого существа то, что является внутренним (приспособляемость), не есть только средство, но сама цель: сохранение жизни, сохранение целостности существа путем приспособления к внешней среде. Ничего подобного нет в гомеостате, нет там никакой «внутренней конечной цели». Если живое существо, равновесие которого было нарушено, с упорством испытывает одну за другой все возможности приспособиться к новым условиям. то это объясняется стремлением выжить. Если гомеостат испытывает одну за другой свои 390 625 комбинаций, то только потому, что этого хотел Эшби»¹.

Тем не менее обучающиеся автоматы уже созданы, хотя они еще и далеки от совершенства. Обучение системы заключается в том, что она в соответствии с прежним опытом (успехи и неудачи) совершенствует внутреннюю модель внешнего мира и на этой основе улучшает свое поведение или функционирование в желаемом направлении². Создание системой «внутренней модели» той части среды, с которой данная система функционально связана, является необходимой предпосылкой способности машин к обучению.

В предыдущем изложении мы неоднократно пользовались понятием модели. Подчеркнем, что именно в «кибернетический» период развития науки проблема моделирования становится чрезвычайно актуальной. Нас интересует здесь то обстоятельство, что проблема моделирования оказывается тесно связанной с проблемой сохранения. Действительно, сущность моделирования состоит в соотношении объекта и его «образа» («квазиобъекта»), отображающего некоторые существенные стороны изучаемого объекта. По определению И. Б. Новика, «модель — это искусственный или естественный объект (представляющий собой вещественный агрегат или знаковую систему), находящийся в некотором объективном соответствии с исследуемым

¹ П. Косса. Кибернетика. М., 1958, стр. 76.

² См., напр.: К. Штейнбух. Автомат и человек. М., 1967, гл. 13.

объектом, способный его замещать на определенных этапах познания, дающий в процессе исследования некоторую допускающую опытную проверку информацию, переводимую по установленным правилам в информацию о самом исследуемом объекте»¹.

По своей структуре модель может быть изоморфной или гомоморфной оригиналу.

Модель дает нам объективную информацию о том или ином предмете, явлении только потому, что преобразование объекта в квазиобъект и обратно оставляет инвариантными некоторые существенные стороны изучаемого предмета. Если рассматривается лишь поведение систем (собственно кибернетический аспект моделирования), то моделирование сводится к установлению функционального соответствия объекта и квазиобъекта (изофункционализм). В определении модели, которое дает И. Б. Новик, в явном виде указываются все основные инвариантные аспекты процесса моделирования как отображения объекта на квазиобъект и обратно: соответствие оригинала и образа, возможность замещения объекта квазиобъектом, перевод информации с квазиобъекта на объект.

Сюда нужно добавить еще один инвариантный аспект модельного отображения. «В модели мы каждый раз вычленим некоторые черты объекта, оставляя другие вне своего рассмотрения; однако все правильные модели данного объекта, образующие абстрактную систему объектов (систему абстрактных объектов), обладают инвариантными характеристиками, остающимися неизменными при переходе от одной модели к другой»².

Своеобразным видом моделирования является создание технических устройств, аналогичных по своей структуре, функциям, и т. д. живым системам. В этом направлении идет **бионика**. «Подражание замечательным способностям некоторых живот-

¹ И. Б. Новик. О моделировании сложных систем. М., 1965, стр. 42. По проблеме моделирования см.: Б. А. Глинский, Б. С. Грязнов, Б. С. Дынин, Е. П. Никитин. Моделирование как метод научного исследования. Изд-во Моск. ун-та, 1965; В. А. Штофф. Моделирование и философия. М.—Л., 1966; К. Е. Морозов. Математическое моделирование в научном познании. М., 1969; А. А. Братко, П. П. Волков, А. Н. Коцержин, Г. И. Царегородцев. Моделирование психической деятельности. М., 1969.

² «Теория речевой деятельности (Проблемы психолингвистики)». М., 1968, стр. 18. Далее для сравнения приводится определение фонологической структуры языка: «Фонологической структурой языка является то, что остается инвариантом при всех возможных трансформациях от одной исчерпывающей фонемизации к другой» (Ch. F. Hockett). Структура объекта исследования (языка) раскрывается здесь через инвариантный аспект различных моделей данного объекта.

ных, — пишет В. Мартека, — одно из новейших направлений в стремлении человека усовершенствовать мир. Вполне возможно, что развитие многих областей деятельности человека (например, освоение космоса, мореплавание, создание новых, более совершенных счетно-решающих устройств) будет обязано своими успехами таким животным, как летучие мыши, лягушки, дельфины и бабочки. Эти животные обладают самыми совершенными «приборами» для навигации, локации, хранения информации, которые когда-либо были известны человеку»¹.

С проблемой инвариантности мы непосредственно сталкиваемся при решении многих кибернетических задач — например, задачи **распознавания образов**. Восприятие образов (объектов, обладающих определенной конфигурацией, структурой) основано на том, что воспринимающая система создает инварианты, обеспечивающие узнавание образа даже при определенных его «деформациях», т. е. вариациях сигналов, которые несут информацию о данном объекте².

Как пишет Ф. Джордж, перед любой моделью узнавания будет стоять трудная задача — объяснить возможность узнавания даже тогда, когда данная форма подвергается различным преобразованиям. «Для точного моделирования процесса узнавания требуется найти такую систему, которая сохраняла бы некоторые инварианты при различных преобразованиях»³. Отыскание системы инвариантных признаков является одной из задач эвристического программирования. Питтс и Мак-Каллок впервые разработали общую методику получения инвариантных признаков из неинвариантных, предположив, что пространство преобразований имеет определенную (теоретико-групповую) структуру⁴.

Механизм узнавания ситуации лежит в основе образования условных рефлексов. Действительно, для выработки условного рефлекса необходимо многократное повторение одной и той же ситуации, но двух совершенно одинаковых ситуаций не существует. Налицо явное противоречие: нужны тождества, существование которых невозможно. Это противоречие разрешается за счет формирования у животных механизма узнавания ситуации, который позволяет данной особи отождествлять сходные

¹ В. Мартека. Бионика. М., 1967, стр. 7.

² См. К. Штейнбух. Автомат и человек, гл. 8; М. М. Бонгард. Проблема узнавания. М., 1967.

³ Ф. Джордж. Мозг как вычислительная машина. М., 1963, стр. 399.

⁴ См. кн.: «Вычислительные машины и мышление». М., 1967, стр. 415.

ситуации. Выделение характерных, инвариантных признаков ситуации в целом служит основой, на которой формируются условнорефлекторные приспособительные реакции.

Кибернетические подходы дают возможность более глубоко понять роль устойчивости, сохранения в различных процессах. В особенности это относится к **биокибернетике**. Академик И. И. Шмальгаузен, впервые излагая теорию Дарвина на языке кибернетики, показал, что главный регуляторный механизм эволюции — естественный отбор является не только преобразующим, но и стабилизирующим фактором¹. В работах И. И. Шмальгаузена обосновывается своеобразный синтез идеи устойчивости и идеи эволюции в биологии. Оказалось, что наиболее высокие темпы эволюции характерны для наиболее стабильных биологических структур.

Биологическая эволюция является регулируемым процессом. Этот процесс регуляции, который завершается изменением представителей того или иного вида живых существ, т. е. эволюцией, протекает на уровне биогеоценоза² — надорганизменном уровне организации живого. «Биогеоценоз выступает по отношению ко всем составляющим его популяциям видов как управляющее устройство. Контроль и регуляция взаимозависимостей популяций разных видов друг с другом и с неживыми компонентами биогеоценоза совершаются через отбор, или дифференциальное участие особей в воспроизведении следующего поколения. Гибель, полное или частичное устранение от размножения всех, кто не может выполнять биогеохимическую функцию, поддерживает устойчивость процессов циркуляции вещества и энергии в биогеоценозе и вместе с тем обеспечивает эволюцию отдельных видов. Эволюция является побочным, но неизбежным результатом поддержания устойчивости системы высшего, по отношению к организму, ранга. Отбор, осуществляя контроль и регуляцию, т. е. поддерживая стационарное состояние биогеоценоза, тем самым становится движущим фактором эволюции вида и обеспечивает не просто изменение вида как системы, которое могло бы привести ее к разрушению, а переход системы

¹ См. И. И. Шмальгаузен. Факторы эволюции. Теория стабилизирующего отбора. М., 1968.

² Биогеоценоз — растительное сообщество вместе с населяющим его животным миром и соответствующим участком земной поверхности с его особыми свойствами атмосферы, геологического строения, почвы и водного режима.

из одного гармонического (устойчивого по принципу регулирования) состояния в другое гармоническое состояние»¹.

В истории биологии идея эволюции прошла ряд этапов. Кювье исходил из постоянства и неизменности видов, но в его теории катастроф просвечивают своеобразные эволюционные идеи. Дарвин разработал стройную эволюционную теорию, показав изменимость видов. Однако в биологии XX века вновь возродились идеи устойчивости. И с тем же благородным рвением, — пишут Р. Л. Берг и А. А. Ляпунов, — с каким человеческая мысль разрушала теорию неизменности видов, она устремилась на поиски механизмов поддержания устойчивости. Основополагающие идеи в этом направлении высказал академик В. И. Вернадский, один из крупнейших естествоиспытателей нашего столетия. «В геохимическом аспекте, — указывал он, — входя как часть в мало изменяющуюся, колеблющуюся около неизменного среднего состояния биосферу, жизнь, взятая как целое, представляется устойчивой и неизменной в геологическом времени»². В. И. Вернадский отмечал, что эволюция видов заняла центральное место в дарвиновском учении, привлекла к себе внимание до такой степени, что затемнила другие, не менее, если не более, важные биологические явления.

Если Вернадский раскрыл на уровне биосферы в целом единство эволюционного процесса и форм устойчивости живой природы, то в рамках самой биологии это сделал Шмальгаузен. Он показал, что «само преобразование органических форм закономерно осуществляется в рамках относительно стабильного механизма, лежащего на биогеоценотическом уровне организации жизни и действующего по статистическому принципу. Это и есть высший синтез идеи эволюции органических форм с идеей устойчивости вида и идеей постоянства геохимической функции жизни в биосфере»³. В определенном смысле можно сказать, что само изменение подчинено задаче сохранения неизменного

¹ Р. Л. Берг, А. А. Ляпунов. Предисловие к сборнику работ И. И. Шмальгаузена «Кибернетические вопросы биологии». Новосибирск, 1968, стр. 5. Управление есть «приведение системы к состоянию динамической устойчивости (т. е. стабилизация системы) путем нарушения этого состояния в возможных для нормального существования данной системы пределах...» (Л. А. Петрушенко. Принцип обратной связи. М., 1967, стр. 101). В данном случае «возможные пределы» — это границы существования биогеоценоза.

² В. И. Вернадский. Избр. соч., т. V. М., 1960, стр. 238.

³ Р. Л. Берг, А. А. Ляпунов — в кн.: И. И. Шмальгаузен. Кибернетические вопросы биологии, стр. 13.

состояния. Неизменность в главном, на уровне метасистемы (сложной динамической системы высшего ранга), может быть достигнута только за счет изменения, эволюции подсистем. Этим отличаются высшие формы инвариантности, характерные для высокоорганизованных систем.

III

**ПРИНЦИП ИНЕРЦИИ
И ЕГО ФИЛОСОФСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ**

Мы рассмотрели различные философские аспекты проблемы сохранения в общем виде и на этой основе — принципы сохранения в современном естествознании. При анализе принципов сохранения в физике мы непосредственно столкнулись с инерционными свойствами материальных объектов (инерционная масса, закон инерции, инерциальные системы отсчета и т. п.). Принцип инерции (так мы будем называть закон инерции и связанные с ним представления) является одним из самых фундаментальных физических принципов сохранения; в то же время он относится к числу тех немногих принципов, которые лежат в основе физических представлений. В современной физике и космологии вопрос о природе инерции является предметом оживленных дискуссий, поскольку среди ученых нет единства взглядов в понимании этого явления. Сказанное выше объясняет тот философский интерес, который вызывает принцип инерции. Феномен инерции нас будет интересовать в основном с той его стороны, которая так или иначе связана с проблемой сохранения.

Для того чтобы включиться в круг современных интерпретаций принципа инерции, необходимо кратко проследить основные вехи на пути формирования представлений об инерции. В истории развития представлений об инерции выделяются два основных этапа: 1) учение об инерции в классической механике и 2) трактовка инерции в свете идей общей теории относительности.

**1. Эволюция представлений об инерции
в классической физике**

Понятие инерции тесно связано с понятием инертной массы, которое разработано Ньютоном в XVII столетии. Однако истоки представлений об инерции обнаруживаются еще в античной физике. К учению об инерции вполне применимы слова Ф. Энгельса о том, что «теоретическое естествознание, если оно хочет просле-

дить историю возникновения и развития своих теперешних общих положений, вынуждено возвращаться к грекам»¹.

Исследователи античной науки отмечают, что в учении древнегреческих атомистов имеются положения, которые являются предвосхищением закона инерции. Согласно учению Демокрита, движение атомов в пустоте извечно, неуничтожимо. Нет причин считать, что это движение началось скорее в тот, чем в иной момент; нет причины, почему бы движение атомов ускорилося или замедлилось, значит оно является равномерным. «В пустоте... невозможно указать, почему движущееся тело когда-нибудь остановится. В самом деле, почему оно скорее остановится в одном месте, чем в другом... Значит, оно либо будет неподвижно, либо будет двигаться бесконечно, пока ему не помешает что-либо более сильное»². В период между столкновениями атомы движутся равномерно, причем Демокрит допускал для свободно движущихся тел два движения — и прямолинейное, и круговое. Демокрит считал, что оба эти вида движения не нуждаются в объяснении, т. е. существуют изначально.

Интересно отметить, что Аристотель, отрицавший возможность существования пустоты, признает правильными рассуждения Демокрита о движении атомов в пустоте, если допускать само существование пустого пространства. Аристотель пишет, что при допущении пустоты «никто не сможет сказать, почему тело, приведенное в движение, где-нибудь остановится, ибо почему оно скорее остановится здесь, а не там? Следовательно ему необходимо или покоиться, или бесконечно двигаться, если только не помешает что-нибудь более сильное»³.

Эпикур, последователь Демокрита, четко формулирует мысль о том, что атомы различного веса движутся с одинаковыми скоростями. Он писал, что «атомы движутся с равной быстротой, когда они несутся через пустоту, если им ничто не противодействует. Ибо ни тяжелые атомы не будут нестись быстрее малых и легких, когда, конечно, ничто не встречается им; ни малые (не будут нестись быстрее) больших, имея везде удобный проход, когда и им ничто не будет противодействовать...»⁴ Эти мысли получили блестящее подтверждение в новое время, когда Галилей установил равенство скоростей падения тел в пустоте,

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 369.

² Цит. по кн.: С. Я. Лурье. Очерки по истории античной науки. М.—Л., 1947, стр. 200.

³ Аристотель. Физика. М., 1936, стр. 70—71.

⁴ «Материалисты древней Греции». М., 1955, стр. 189.

откуда следовало равенство инерционной и тяготеющей масс — факт, который позднее лег в основу общей теории относительности.

В эллинистический период идеи, связанные с принципом инерции, обнаруживаются в трудах Герона Александрийского. Герону удалось разделить эффекты инерционности и статического трения друг от друга. Он утверждает, что для приведения в движение тяжелого тела, покоящегося на гладкой горизонтальной плоскости, достаточно сколь угодно малой силы и что наблюдаемые на практике отступления от этого обуславливаются только шероховатостью самого тела и той опоры, на которой оно покоится. Уменьшая шероховатость, мы можем добиться уменьшения той минимальной силы, которая необходима для приведения тела в движение. «Переходом к предельному случаю полного отсутствия шероховатости Герон получает утверждение, весьма близкое к формулировке закона инерции»¹.

Догадки древнегреческих мыслителей, в которых обнаруживаются истоки позднейших представлений об инерции, были подхвачены учеными арабского средневековья, в частности Авиценной (Ибн Сина). Советский исследователь творчества Авиценны проф. А. М. Богоутдинов отмечает, что, согласно учению Ибн Сина, «движение возможно и в пустоте, ибо ничто не могло бы помешать этому движению продолжаться в пустоте, если бы такое движение существовало. Значение этого положения нашего ученого исключительно велико. Движение могло бы продолжаться бесконечно, если бы оно не встречало препятствий. Этот тезис Абу Али Сина предвосхищает принцип инерции»².

Важным шагом на пути преодоления идей аристотелевской динамики была теория *impetus*, которая возникла в VI веке н. э. и просуществовала вплоть до начала XVII в. Согласно Аристотелю, «все движущееся необходимо бывает движимо чем-то». В частности брошенные тела движутся благодаря передаче им движения промежуточной средой — воздухом или водой. В отличие от традиционных взглядов перипатетиков, теория *impetus* оказалась от объяснения движения тел за счет посредствующей материальной среды. Согласно Ж. Буридану (XIV век) «движущее, приводя в движение движимое, запечатлевает в нем некий *impetus*, или некую силу, движущую это движимое в ту сторону, в которую движущее его двигало. . .»

¹ Н. Д. Моисеев. Очерки развития механики. Изд-во Московского ун-та, 1961, стр. 93.

² Ибн Сина. Даниш-намэ. Таджикское гос. изд-во, 1957, стр. 58.

Однако в целом теория *impetus* не смогла выйти за рамки перипатетической физики. В. П. Зубов в этой связи отмечает: «Объясняя сохранение движения наличием некоторой силы, призванной поддерживать это движение, сторонники теории *impetus* в сущности не выходили за пределы аристотелевской концепции. Они были далеки от того, чтобы рассматривать равномерное движение как некоторое состояние, которое так же не требует особой причины для своего объяснения, как не требует его и состояние покоя.

... Даже в тех случаях, когда сторонники теории *impetus* говорили о сохранении *impetus* и сохранении движения неизменным, они не говорили непременно о движении прямолинейном. При отсутствии внешних помех, по их взгляду, с таким же успехом могло бы сохраняться и движение вращательное¹. И все же теория *impetus* в определенном смысле расчищала те пути, которые привели к установлению закона инерции.

Говоря о предыстории принципа инерции, необходимо указать на труды Леонардо да Винчи по механике. Леонардо высказывает, правда в чисто качественном виде, принцип наименьшего действия, из которого можно непосредственно получить первый закон Ньютона (закон инерции).

Подчеркнем, что при разработке гелиоцентрической системы Н. Коперник опирался на представления об относительности движения, в которых *implicite* содержалась мысль об инерциальных системах отсчета. Коперник писал: «Всякое видимое изменение положения происходит вследствие движения наблюдаемого предмета или наблюдателя или же вследствие перемещения, разумеется не одинакового, их обоих. Ибо при равном движении того и другого, т. е. наблюдаемого и наблюдателя в одном и том же направлении, движение незаметно². Принцип относительности движения, который характерен для инерциальных систем отсчета, является в то же время принципом инвариантности. Идея релятивистской инвариантности неразрывно связана с представлениями об инерциальном движении и об инерциальных системах отсчета.

Важным вкладом в развитие представлений об инерции явились мысли И. Кеплера об инертных свойствах тел. Согласно Кеплеру, все тела во вселенной обладают естественной инерцией

¹ А. Т. Григорьян, В. П. Зубов. Очерки развития основных понятий механики. М., 1962, стр. 80—81.

² Сб. «Николай Коперник». М.—Л., 1947, стр. 199.

или покоем. Тело неспособно само по себе переходить с одного места на другое, поэтому тело покоится в любом месте, где оно предоставлено самому себе. Таким образом, инерция в понимании Кеплера — это сопротивление тела, оказываемое силе, которая стремится вывести его из состояния покоя, но не изменить скорость его движения. «Инерция Кеплера — это косность покоя, об инерционном движении Кеплер не знал. Он думал, что движение, не поддерживаемое силой, прекратится, и ищет силу, которая поддерживает движение небесных тел»¹. Как видим, Кеплер не мог еще освободиться от идей аристотелевской физики.

Хотя исторически первые идеи, которые можно каким-то образом спроецировать на позднейшее учение об инерции, были связаны с представлением о пустоте (античная атомистика), первые реальные попытки приблизиться к понятию инерционного движения были сделаны путем рассмотрения конкретных случаев движения тел, когда мысленно устраняются все возмущающие факторы, ведущие к изменению определенного состояния движения. Пустоты, как ее понимали атомисты, реально не существует, поэтому какие бы то ни было закономерности движения могли быть установлены лишь путем изучения конкретных движений, когда вводятся некоторые предположения, упрощающие ту или иную ситуацию. Многие предшественники Галилея — среди них Николай Кузанский, Кардано, Стевин и другие — рассматривали движение шара по горизонтальной плоскости, вернее — движение идеального шара по идеальной горизонтальной плоскости. Они приходили к выводу, что если устранить сопротивление среды и силы трения, то шар, будучи однажды приведен в движение, сохранял бы это состояние всегда, т. е. двигался бы вечно.

История учения об инерции (в отличие от предыстории) начинается с Галилея — основоположника физики нового времени. Принцип инерции, сформулированный Галилеем, был первым камнем, заложенным в фундамент новой, неаристотелевской динамики. Анализируя движение шаров на плоскости и используя при этом метод идеализации («мысленный эксперимент»), Галилей приходит к следующему выводу, который является формулировкой принципа инерции: «Когда тело движется по горизонтальной плоскости, не встречая никакого сопротивления движению, то... движение его является равномерным и про-

¹ Б. Г. Кузнецов. Развитие научной картины мира в физике XVII—XVIII вв. М., 1955, стр. 27.

должалось бы бесконечно, если бы плоскость простиралась в пространстве без конца»¹.

Интересно отметить, что в своих рассуждениях, обосновывающих принцип инерции, Галилей неявно опирается на закон сохранения импульса (для изолированного тела), который тогда еще не мог быть сформулирован. Галилей пишет, что «градус скорости» (т. е. величина скорости), достигнутый телом при естественном падении, по своей природе неразрушим и вечен. Если тело после падения по наклонной плоскости начинает двигаться по другой, поднимающейся плоскости, то именно в этой последней и коренится причина замедления движения. При отсутствии внешних помех — на идеальной горизонтальной плоскости — тело будет двигаться с постоянной скоростью, т. е. вечно. Под «градусом скорости» Галилей, как видно, подразумевает здесь импульс — произведение массы на скорость; поскольку масса тел остается неизменной, ее можно исключить из рассмотрения и оперировать только скоростями.

При отсутствии внешних воздействий скорость тела (в инерциальных системах отсчета) не изменяется ни по величине, ни по направлению; именно этот факт выражает мысль Галилея о том, что «градус скорости» неразрушим и вечен.

Хотя Галилей рассматривает движение тел по горизонтальной плоскости, эта плоскость соответствует у него поверхности земного шара, вообще — сферической поверхности. Для механики земных тел кривизна земной поверхности несущественна, поэтому можно говорить о движении тел по горизонтальной плоскости. Вообще же инерция у Галилея — это равномерное круговое движение тел, движение по замкнутым круговым орбитам.

Физика Галилея — это физика тяжелых тел, имеющих естественную склонность к движению вниз, которое проистекает из внутреннего начала и не нуждается в действии какого-либо внешнего двигателя. В отличие от этого движение вверх является насильственным движением: оно происходит в результате действия внешних причин (бросание, толчок и т. п.). К некоторым движениям тела безразличны, а именно к таким, которые не являются ни «естественными», ни «насильственными» движениями. Это случай горизонтального движения тел, а вернее — движения по сферической поверхности, когда сохраняется неизменным расстояние данного тела от центра Земли или другого небесного тела (или центра Солнечной системы). В таком поло-

¹ Г. Галилей. Беседы и математические доказательства. М.—Л., 1934, стр. 417—418.

жении тела безразличны к покою и к движениям по любому направлению: они будут оставаться в том состоянии, в которое однажды приведены. Именно этот случай и соответствует инерционному движению в понимании Галилея.

Инерционное движение в физике Галилея — это движение тел, обладающих тяжестью, в однородном искривленном пространстве. Круговое инерционное движение рассматривается Галилеем как естественно подобающее телам, составляющим Вселенную и приведенным в наилучшее расположение. Физика у Галилея непосредственно выступает как геометрия мира, а последняя строится во многом на основе эстетических соображений. Круговые инерционные движения для Галилея эстетически более приемлемы, чем всякие иные. Он считал, что именно такое движение соответствует гармонии природы, которая проявляется в геометрических особенностях пространства. Галилей исходил из равноправности всех точек траектории кругового движения. Здесь нет каких-либо выделенных положений, движение по такой траектории не имеет ни начала, ни конца, поэтому только круговое движение может быть равномерным, только оно способно обеспечить совершенный порядок в мире. Исходя из этих установок Галилей не обращал внимания на законы Кеплера, в которых говорилось об эллиптических траекториях движения планет, об изменении скоростей их движения и т. п.

Представления Галилея о криволинейном характере инерционного движения, которые можно назвать принципом космической инерции¹, в определенном смысле соответствуют современным взглядам на инерцию в рамках общей теории относительности (кривизна пространства—времени, движение тел по геодезическим линиям и т. п.). Однако эта аналогия — весьма отдаленная. Галилей еще не знал гравитации, классическое учение об инерции только еще начало формироваться, поэтому вопрос о связи инерции и тяготения не мог возникнуть даже в виде интуитивных догадок или предвосхищений.

Если Галилей в своих рассуждениях об инерции ставил тело в некоторые воображаемые условия «безразличия», то его ученики Торичелли и Кавальери поднялись на более высокую ступень абстракции при изучении свойств инерции: они стали рассматривать инерционное движение как некую мысленную ком-

¹ См. Н. И. Идельсон. Галилей в истории астрономии. В сб.: «Галилео Галилей», М.—Л., 1943, стр. 127.

поненту реального движения¹. Это было существенным шагом на пути к пониманию инерции как всеобщего свойства материальных тел и движений.

Новый этап в развитии представлений об инерции связан с картезианской физикой. Картина мира, созданная Галилеем, была единой, охватывающей все мироздание картиной инерционных круговых движений. Следующий шаг в разработке механической картины мира был связан с необходимостью выяснения роли и причин ускорения в картине всеобщего движения. А для этого, как отмечает Б. Г. Кузнецов, «требовалось более точное определение инерции, представление о сохранении не только абсолютной скорости, но и направления инерционного движения»². Этот новый вклад в учение об инерции и был сделан Декартом. В тесной связи с этим стоит установление Декартом количественной меры движения mv и формулировка им принципа сохранения количества движения.

Физика Декарта — это физика континуума, непрерывного физического пространства. Материальные тела представляют собой не что иное, как отграниченные друг от друга части пространства. Декарт строит картину мира, в которой нет ничего, кроме движущейся материи. Поскольку Декарт признает неуничтожимость материи, а природу материи видит в протяженности, то он приходит также к выводу о неуничтожимости пространства.

Учение об инерции у Декарта является частью общего учения о движении материи. Он исходит из того, что каждая частица материи в отдельности продолжает находиться в одном и том же состоянии до тех пор, пока столкновение с другими частицами не вынуждает ее изменить это состояние. Формулируя систему законов природы, Декарт первым из них называет закон, согласно которому «всякая вещь... продолжает по возможности пребывать в одном и том же состоянии и изменяет его не иначе, как от встречи с другими... Отсюда должно заключить, что тело, раз начав двигаться, продолжает это движение и никогда само собою не останавливается»³. Второй закон природы гласит: «Каждая частица материи в отдельности стремится продолжать дальнейшее движение не по кривой, а исключительно по прямой, хотя некоторые из этих частиц часто

¹ См. А. Т. Григорьян, В. П. Зубов. Очерки развития основных понятий механики, стр. 36.

² Б. Г. Кузнецов. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. М., 1963, стр. 85.

³ Р. Декарт. Избр. произведения, стр. 486.

бывают вынуждены от нее отклониться, встречаясь на своем пути с иными частицами, а также потому, что ...при всяком движении образуется круг, или кольцо, из всей одновременно движущейся материи»¹.

В картезианской физике столкновения тел друг с другом приводят к тому, что возникает картина всеобщего вихревого движения, в котором каждое тело по своей природе стремится двигаться равномерно и прямолинейно. Криволинейное (реальное) движение рассматривается Декартом как движение сложное, в котором инерционное движение является одной из составляющих. Тело, предоставленное самому себе, будет двигаться по касательной к криволинейной траектории.

Таким образом, инерционное движение в физике Декарта — это своего рода негативное понятие, выражающее тот отрицательный факт, что тело, не взаимодействующее с другими телами, выйдет из общего вихревого движения и сохранит свое состояние равномерно-прямолинейного движения или покоя. (Позднее Энгельс скажет вполне определенно: инерция есть отрицательное выражение неуничтожимости движения). Отсюда следует, что движение по инерции, с постоянной по величине и направлению скоростью, не требует физического объяснения; такого объяснения требует лишь изменение скорости движения тел, т. е. ускорение. Эти идеи непосредственно подводили к механике Ньютона.

Инерция перестала выражать гармонический миропорядок (Галилей), но осталась выражением простейших закономерностей природы. Простейшим движением для Декарта является только движение по прямой, тогда как Галилей считал наиболее простым и естественным круговое движение.

Учение Декарта об инерции, как и все учение о движении, носит односторонне-кинематический характер. Инерция тела характеризуется только кинематическими параметрами. Новый шаг в понимании природы инерции мог быть сделан только на основе динамических представлений о движении тел — теории механического движения, разработанной Ньютоном и его продолжателями.

Представления Ньютона об инерции тесно связаны, с одной стороны, с его общим учением о материи, движении, пространстве, времени, причинности и т. п., а с другой, с установленными им законами механики. Понятие инерции Ньютон рассматривает и как свойство самих материальных тел, и как закон движения.

¹ Р. Декарт. Избр. произведения, стр. 487.

Инерционные свойства тел выражаются понятием инерционной (инертной) массы. Масса трактуется Ньютоном как неотъемлемое свойство всех вещественных тел, как врожденная сила материи. Третье определение «Начал» гласит: «Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения»¹. В пояснении к данному определению указывается, что эта сила всегда пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее.

Инерция выступает здесь как инерционная масса, которая выражает способность «сопротивления», присущую всем телам; это «сопротивление» проявляется в стремлении данного тела удержать свое состояние покоя или равномерно-прямолинейного движения. Инерция перестает быть чисто кинематической характеристикой и выражением косности материи. В физике Ньютона инерция является всеобщей динамической характеристикой тел; она проявляется во взаимодействиях тел и выступает как сила инерции, вполне равноценная всем другим силам. В таком понимании инерция выражает момент активности взаимодействующих тел.

Будучи свойством материальных тел, инерция у Ньютона является также характеристикой движения, одним из законов движения. Первый закон движения гласит: «Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние»². Здесь инерция выступает как момент, сторона реального движения. Выделяя в ньютоновском учении об инерции две стороны, одна из которых характеризует свойства материи, а другая — свойства движения, Б. Г. Кузнецов пишет: «В отличие от третьего определения, говорящего об инерции как врожденной силе материи, в первом законе изложена не положительная характеристика материи, а отрицательная характеристика движения»³.

Формально первый закон Ньютона (закон инерции) можно рассматривать как частный, «нулевой» случай второго закона:

¹ *И. Ньютон*. Математические начала натуральной философии. Изв. Николаевской морской акад., вып. IV, ПГ, 1915, стр. 23 (в тексте — курсив).

² Там же, стр. 36 (в тексте — курсив).

³ *Б. Г. Кузнецов*. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки, стр. 164.

если в формуле $F=ma$ сила $F=0$, то ускорение $a=0$; последнее означает, что тело не испытывает ускорения и находится в состоянии покоя или равномерно-прямолинейного движения. В силу этого некоторые ученые (например, С. Э. Хайкин) стали отрицать самостоятельное значение закона инерции, сводить первый закон Ньютона ко второму. Если при решении конкретных задач механики первый закон Ньютона в определенном смысле можно рассматривать как «нулевой» случай второго закона, при анализе основ самой механики такой подход совершенно недопустим. И по своей логической форме, и по физическому смыслу закон инерции является вполне самостоятельным законом¹ — основой количественного описания механического движения. Закон инерции имеет и свое независимое опытное обоснование. Как подчеркивает В. Г. Невзглядов, «опытное содержание первого закона заключается в факте существования инерциальных систем отсчета. Гелиоцентрическая система есть практически важнейший пример осуществления такой системы»². Тот факт, что первый закон Ньютона математически выступает как частный случай второго, раскрывает лишь момент общности обоих законов механики, которые выражают различные, но тесно связанные друг с другом стороны реального движения.

Ньютоновское понимание инерции как неотъемлемого динамического свойства тел и как характеристики движения раскрывает один из существенных моментов взаимосвязи материи и движения в области механических явлений. Классическая механика по-своему выражает взаимосвязь материи и движения, подобно тому как она отражает принцип причинности, несет в своей структуре принципы сохранения и т. п.³ Другое дело — метафизические и теологические элементы в мировоззрении Ньютона, допущение им первотолчка и т. д., но все это уже «посторонние прибавления» к механике, а не сама механика как таковая.

Наделяя все материальные тела свойством инерции, Ньютон в то же время считал само свойство инерции неизменным. Всеобщность физических свойств он мыслил как их неизменность, как невозможность усилить или ослабить эти свойства. Таким требованиям удовлетворяла только инерция. «Я отнюдь

¹ См. Н. Ф. Овчинников, А. И. Уемов. Является ли первый закон Ньютона следствием второго? В сб.: «Философские вопросы естествознания», II. Изд-во Моск. ун-та, 1959.

² В. Г. Невзглядов. Теоретическая механика. М., 1959, стр. 223.

³ См. В. А. Марков. Закон инерции и его философское истолкование. «Известия Академии наук Латвийской ССР», 1966, № 8.

не утверждаю, — писал Ньютон, — что тяготение существенно для тел. Под врожденной силой я разумею единственно только силу инерции. Она неизменна. Тяжесть при удалении от Земли уменьшается¹. Способность данного тела к «сопротивлению» остается неизменной, она носит абсолютный характер и определяется его инертной массой. Признание постоянства массы, независимости ее от скорости является одним из постулатов, неявно принимаемых в классической механике (в явном виде Ньютон нигде его не формулирует). Такие представления о массе и инерции в конечном счете вытекали из финитной концепции материи, согласно которой материя состоит из неделимых, неизменных элементов, являющихся носителями некоторых «врожденных» свойств.

В качестве одного из следствий законов механики Ньютон формулирует принцип относительности прямолинейного и равномерного движения. Подчеркнем, что принцип относительности можно сформулировать лишь исходя из принципа инерции. Исходным понятием становится при этом понятие инерциальной системы. Заметим также, что принцип инерции, так же как и принцип относительности, Ньютон формулирует на основе представлений об абсолютном пространстве. Согласно Ньютону, движение по инерции происходит в абсолютном пространстве, так что иллюстрацией абсолютного движения, т. е. движения в абсолютном пространстве, могут служить лишь динамические эффекты (силы инерции), имеющие место в ускоренно движущихся системах отсчета.

Глубокие и оригинальные мысли по вопросу об инерции были высказаны Г. Лейбницем. В конечном итоге в своей физике Лейбниц подходит к ньютоновскому пониманию инерции. В противоположность картезианской физике Лейбниц развивает динамическую концепцию инерции. С точки зрения Лейбница, нельзя понять поведение физических тел, если не допустить, кроме протяженности и непроницаемости, существование такого свойства тел, благодаря которому большое тело труднее привести в движение, чем малое. «Поэтому нужно признать, — писал Г. Лейбниц, — что протяжение, или то, что есть в теле геометрического, взятое одно само по себе, не включает в себе ничего, откуда могли бы произойти деятельность и движение; напротив, материя скорее сопротивляется движению в силу своей природной инерции, так что она не безразлична к движению и покою, как обыкновенно думают, но соразмерно своей вели-

¹ И. Ньютон. Математические начала натуральной философии, стр. 504.

чине требует для движения тел большей деятельной 'силы'¹. Инерция (инертная масса) выступает здесь как важнейшая динамическая характеристика тел. Согласно Лейбницу, массы движущихся тел относятся друг к другу, как их объемы и плотности или как протяженность и концентрация материи. Это полностью соответствует ньютоновской физике.

Лейбниц понимает инерцию как «сопротивление», которое оказывает данное тело воздействию на него других тел. Движущееся или покоящееся тело не просто сохраняет свое состояние, но активно противодействует внешним возмущающим факторам, стремясь удержать это свое первоначальное состояние. Лейбниц понимает инертность материи в динамическом смысле. «Что касается мнения, — писал он, — будто тела инертны сами по себе, то оно будет справедливо, если понять его в правильном смысле.

Именно, если предположить, что какое-нибудь тело раз пришло по какой-либо причине в состояние покоя, то оно не может само привести себя в движение и не допускает без сопротивления, чтобы другое тело привело его в движение; точно так же не может оно изменить по своему произволу степень скорости или направления, которое оно раз получило, или допустить без сопротивления, чтобы другое тело изменило их»². Трактовка инерции Лейбницем близка здесь к ньютоновской концепции.

Свойство инертности, присущее всем телам, отнюдь не ведет к уменьшению, т. е. несохранению, сил (напомним, что понятие силы у Лейбница соответствует позднему понятию энергии). «Эта инертность, — подчеркивал Лейбниц, — ...имеет своим следствием лишь то, что скорости уменьшаются, когда массы увеличиваются, но при этом и речи нет о каком-либо уменьшении сил»³. Лейбниц исходил из того, что «в природе сохраняется не одинаковое количество движения, как думал Декарт, а то же самое количество движущей силы...»⁴ Это был новый шаг в понимании сохраняемости движения, тесно связанный с развитием представлений об инерции. Количество движения (mv) в реальных взаимодействиях не сохраняется, поскольку механическое движение переходит в другие формы движения, тогда как энергия (у Лейбница — «сила») сохраняется при всех материальных превращениях.

¹ Г. Лейбниц. Избр. философские сочинения. М., 1908, стр. 157.

² Там же.

³ Полемика Г. Лейбница и С. Кларка по вопросам философии и естествознания. Изд-во Ленинградского ун-та, 1960, стр. 92.

⁴ Цит. по кн.: Л. Фейербах. История философии, т. 2. М., 1967, стр. 197.

Оригинальные взгляды Лейбница на инерцию и массу очень сложны; они тесно связаны с его философской системой — учением о монадах. Согласно учению Лейбница, монады представляют собой нематериальные, непротяженные сущности (субстанции), выражающие активное, деятельное начало в мире. Монады образуют сложные иерархические структуры. Масса характеризует совокупность монад на определенном уровне этой иерархической организации, и в своем полном виде является предельным понятием. (Заметим, что речь везде идет об инертной массе, поскольку Лейбниц активно выступал против ньютоновской теории тяготения.) «Масса представляет собой собрание нескольких сущностей...», — пишет М. Джеммер, анализируя взгляды Лейбница на массу. — Она есть свойство множества и как таковая принадлежит единичному только в частном случае. В этом отношении понятие массы подобно понятию пространства, которое, согласно Лейбницу, образуется путем гипостазирования системы отношений (отношений порядка. — Г. Д., В. М.) и приписывания ей онтологического существования»¹.

Несмотря на идеалистический и спекулятивный характер монадологии Лейбница, в ней содержится множество глубоких прозрений, оригинальных идей, значение которых стало раскрываться лишь в наше время. В частности, трактовка Лейбницем массы, как характеристики множества объектов в определенном смысле соответствует современным представлениям о массе (при этом, конечно, надо учесть все сдвиги, которые произошли в физике от Лейбница до наших дней). Как пишет Макс Джеммер, современная физика приводит к «коллективизму масс». «Возможность приписать отдельным составляющим динамической системы индивидуальные значения масс, как это было до теории относительности, больше не кажется обоснованной»². Масса становится характеристикой физической системы в целом.

Масса как характеристика совокупности монад наделяется в системе Лейбница деятельной силой. Будучи в состоянии оказывать сопротивление, даже если речь идет только о противодействии изменению движения, масса сама должна быть источником силы, динамической сущностью³. Она является носителем или вместилищем активности и энергии. Характеризуя систему Лейбница, В. И. Ленин писал, что в отличие от Спинозы «у

¹ М. Джеммер. Понятие массы в классической и современной физике, стр. 85.

² Там же, стр. 216.

³ См. М. Jammer. Concepts of force, chap. 9.

Лейбница к понятию субстанции прибавляется понятие силы «и притом деятельной силы» . . . принцип «самодеятельности» . . . Лейбниц через теологию подходил к принципу неразрывной (и универсальной, абсолютной) связи материи и движения»¹.

В посленьютоновский (аналитический) период в развитии механики наблюдается тенденция к обоснованию принципа инерции, поскольку сам Ньютон уделил этому вопросу мало внимания. Проблемы обоснования принципа инерции занимали Эйлера, Даламбера, Лапласа, Мопертюи и других выдающихся ученых XVIII века.

Леонард Эйлер в своем труде «Механика или наука о движении, изложенная аналитически» предпринимает доказательство принципа инерции в трех теоремах²:

1) «абсолютно покоящееся тело должно постоянно пребывать в покое, если не будет побуждаться к движению внешней причиной»;

2) «тело, имеющее абсолютное движение, будет постоянно двигаться равномерно и уже раньше двигалось сколько угодно времени с тою же скоростью, если только на него не подействует или не действовала раньше внешняя причина»;

3) «тело, наделенное абсолютным движением, будет двигаться по прямой линии».

Все три доказательства строятся Эйлером на законе достаточного основания (которым широко пользовались в своих натурфилософских построениях древнегреческие мыслители): тело, покоящееся в бесконечном пустом пространстве, должно оставаться в состоянии покоя, ибо нет никакого основания ожидать, что оно станет двигаться в ту, а не в другую сторону, с той, а не с другой скоростью; тело же, движущееся в этом пространстве прямолинейно и равномерно, на том же основании не должно изменять ни величины, ни направления своей скорости.

Эйлер характеризует закон инерции как «первый и основной закон природы, на котором должна быть основана вся наука о движении». Подобно Ньютону, Эйлер связывает инерцию с абсолютным движением; он различает силу инерции, свойственную телу по самой его природе, и силу, приложенную к данному телу извне. «Принципы или законы движения, — писал Л. Эйлер, — собственно касаются абсолютного состояния тел, то есть их абсолютного или истинного покоя и движения. Чтобы открыть

¹ В. И. Ленин. Полное собр. соч., т. 29, стр. 67.

² L. Euler. *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*, v. I. Petropoli, 1736, §§ 56—76.

эти законы, начинают с рассмотрения одного только тела, отвлекаясь от всех других, как будто бы их совсем не было. Такое предположение, хотя и невозможное, однако помогает различить, что именно производит в теле сама его природа и что могут произвести в нем другие тела»¹.

В реальном мире (а не в абстрактном пустом пространстве), как указывает сам Эйлер, начало достаточного основания уже не применимо, поэтому Эйлер вслед за Ньютоном объясняет принцип инерции ссылками на «природу тел». «Хотя мы и вывели пребывание в покое и равномерное продолжение движения по прямой из закона достаточного основания, тем не менее мы уже отмечали, что это не есть действующая причина явления, и что таковая заключена в самой природе тела. Итак, эта причина сохранения своего состояния, зависящая от природы тел, есть то, что называется силой инерции»². Мы видим, что Эйлер не смог подняться выше ньютоновского понимания инерции как врожденной силы материи.

Анализируя основания принципа инерции, Даламбер опирается, помимо закона достаточного основания, на принцип простоты, принцип причинности, на представления об однородности пространства. «Прежде всего, — пишет он, — совершенно ясно, что тело не может само себя привести в движение. Поэтому оно может быть выведено из состояния покоя только действием какой-нибудь посторонней причины. Но будет ли оно продолжать двигаться само собою или же нуждается для своего движения в повторном действии причины? Какое из этих решений ни принять, всегда будет неоспоримо, что... простейшим законом, который тело может соблюдать в своем движении, является закон равномерности, и потому данному закону оно должно следовать»³.

В своей «Динамике» Даламбер разделяет принцип инерции на два закона:

«I. Тело, находящееся в покое, будет продолжать в нем находиться, пока он не нарушится какой-нибудь посторонней причиной, ибо тело не может само собою прийти в движение, так как нет основания, почему бы оно скорее двигалось в одну сторону, чем в другую...»

II. Тело, раз приведенное в движение какой-нибудь причиной, должно продолжать двигаться равномерно и прямолинейно, пока

¹ L. Euler, *Lettres à une princesse d'Allemagne*, t. I. St.—P., 1768, p. 289.

² L. Euler, *Mechanica*..., v. I, p. 27.

³ D'Alembert, *Eléments de philosophie*, XVI.—Oeuvres, Paris, 1821, t. I, p. 302.

на него не подействует некоторая новая причина, отличная от той, которая привела его в движение».

Если предположить, что тело нуждается для своего движения в продолженном действии движущей причины и при этом «на тело не действует никакая посторонняя причина, отличная от движущей причины, то ничто не заставляет движущую причину увеличиваться или уменьшаться, так что ее продолжающееся действие будет равномерным и постоянным и, таким образом, пока она будет действовать, тело будет двигаться равномерно и прямолинейно». Здесь Даламбер прямо исходит из принципа равенства причины своему действию.

Одним из аргументов, которым Даламбер пользуется при обосновании принципа инерции, является допущение им однородности пространства. Действительно, Даламбер пишет: «Возьмем на линии АВ две произвольные точки С и D, лежащие между А и В. Находясь в точке D, тело пребывает в точно таком же состоянии, в каком оно пребывало в точке С с той лишь разницей, что оно теперь находится в другом месте. Следовательно, с этим телом здесь должно происходить то же самое, что и в С»¹. Рассуждения Даламбера *implicite* опираются на представления об однородности пространства (см. рис. 3).

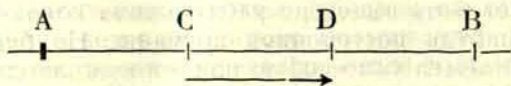


Рис. 3.

Состояния, в которых находится тело в точках С и D, будут совершенно одинаковы лишь в том случае, если движение тела происходит в однородном пространстве; все «места», занимаемые телом при движении в данном направлении, будут эквивалентны. Здесь мы имеем одно из проявлений инвариантности законов природы относительно сдвигов в пространстве. Мы знаем, что данному виду физической инвариантности соответствует закон сохранения импульса. Но закон инерции есть не что иное, как закон сохранения импульса, взятый для случая свободного тела².

В отличие от своих современников, **Мопертюи**, сформулировавший принцип наименьшего действия, избегал термина «сила

¹ Ж. Даламбер. Динамика. М.—Л., 1950, стр. 40.

² См., напр.: А. Зоммерфельд. Механика. М., 1947, стр. 9.

инерции» ввиду неопределенности самого понятия силы. Мопертюи возводил принцип наименьшего действия в ранг универсальной закономерности движения и равновесия, придавая ему телеологическую и теологическую форму. Все законы природы он пытался свести к этому принципу¹. В связи с принципом инерции он высказывал мысль о «безразличии» материи к движению и покою, делая этим шаг назад по сравнению с Лейбницем. Мопертюи писал: «Мы видим, что некоторые части материи находятся в движении, другие — в покое; таким образом, движение не является существенным свойством материи; это — состояние, в котором она может находиться и которого она не может сообщить себе сама собою. Поэтому движущиеся части материи получили свое движение от какой-нибудь посторонней причины, которая мне пока не известна. И так как части эти сами по себе безразличны к движению или к покою, то те из них, которые находятся в покое, остаются в нем, а те, которые движутся, продолжают двигаться до тех пор, пока что-нибудь не изменит их состояния»².

Наряду с попытками обоснования принципа инерции уже в XVIII веке высказываются идеи, которые можно назвать критической основой ньютоновской механики. Оригинальные концепции в этом направлении развивал хорватский ученый Р. Бошкович. Система Бошковича имеет много общего с теорией тяготения Ньютона (представления о центральных силах, зависящих от расстояния) и с монадологией Лейбница, но в то же время существенно от них отличается³. Согласно Бошковичу, «первые элементы материи», из которых состоят все тела, представляют собой точки, совершенно неделимые и непротяженные, рассеянные в пустоте и находящиеся на некотором расстоянии друг от друга. Эти «материальные точки» выступают как центры сил, которые взаимно притягиваются или отталкиваются в зависимости от расстояния. «Первые элементы материи» обладают свойством инерции, которая определяется как стремление изолированной точки пребывать в одном и том же однажды полученном состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

¹ О принципе наименьшего действия см., напр.: Б. Г. Кузнецов. Принципы классической физики. М., 1958, гл. III.

² Maupertuis. Oeuvres. Lyon, 1768, t. I, p. 32.

³ См. Э. Кольман. Жизнь и научная деятельность Руджера Бошковича. «Вопросы истории естествознания и техники», вып. 2. М., 1956; В. П. Зубов. Развитие атомистических представлений до начала XIX века, стр. 339—345.

Взгляды Бошковица на инерцию существенно отличаются от ньютоновской трактовки инерционных свойств. Бошкович отказывается от концепции абсолютного пространства и времени; он считает, что различие абсолютного и относительного движения невозможно не только кинематически, но и динамически — исходя из наличия сил инерции в ускоренно движущихся системах. Никакой «абсолютной инерции», предполагающей наличие абсолютного пространства и времени, не существует.

Советский исследователь научных идей Бошковица А. М. Годыцкий-Цвирко, излагая взгляды хорватского мыслителя на проблему инерции, пишет, что, согласно Бошковичу, и покой, и любое равномерное прямолинейное движение есть одно из бесконечно бесконечных равноправных состояний движения по какой угодно криволинейной траектории, согласно какому угодно закону изменения скорости. Почему должна существовать привилегия равномерности и прямой линии, благодаря которой оставление их означает изменение состояния, оставление же других этого не означает?¹

Сам Бошкович пишет в этой связи следующее: «Прежде всего мы исходим из положения, что в мире в одном и том же состоянии нами наблюдается постоянство, если какая-либо причина не побуждает к изменению. Однако, если вдуматься, нет никакой метафизической необходимости этого принципа. Ведь ни из чего не видно, почему постоянство состояния на протяжении какого-либо времени с необходимостью влечет за собою постоянство на протяжении всего последующего времени. Далее: подобно тому, как равномерное движение есть некое состояние тела, так равным образом и возрастание или убывание движения есть некое состояние, если оно совершается по определенному закону... Почему же... должно оставаться постоянным только одно это состояние равномерного движения, ... а не любое другое из этих состояний?»² Бошкович выступал против широко распространенного тогда мнения о «простоте» прямой линии и соответствующих ей физических закономерностей; в определенном смысле относительно более простой фигурой является окружность.

Рассматривая опытные основания принципа инерции, Бошкович указывает, что этот принцип устанавливается нами *a posteriori* на основании наблюдений, производимых внутри звездного пространства, а потому выражаемое данным принци-

¹ См. А. М. Годыцкий-Цвирко. Научные идеи Руджера Иосипа Бошковица. М., 1959, стр. 63.

² Там же, стр. 63—64.

пом стремление тел сохранять свое состояние относится, во всяком случае, лишь к этому звездному пространству. Материя сама по себе одинаково ко всему безразлична.

Что касается принципа достаточного основания, которым широко пользовались ученые XVIII века для доказательства принципа инерции, то Бошкович говорил, что в обращении с этим принципом вообще нужна большая осторожность. «Мы считаем, — писал он, — что этот принцип вообще непригоден для определения чего-либо, а тем более для доказательства. Ведь, конечно, одно — отсутствие достаточного основания, а другое — отсутствие у нас знания о нем. . . Какой же здравомыслящий человек будет отрицать наличие достаточного основания только потому, что он его не видит?»¹ При использовании этого принципа легко совершить логическую ошибку *petitio principii*, когда в посылках принимается в скрытом виде то, что подлежит доказательству.

Критические взгляды на принцип инерции высказывал во второй половине XVIII века профессор математики и философии Геттингенского университета А. Г. Кестнер. «Если назвать состоянием тела покой, когда оно не движется, направление и скорость, когда оно движется, то мы замечаем, что не можем изменить состояния какого-либо тела без приложения некоторого усилия. . . Таким образом, получается впечатление, как будто бы в теле содержится нечто, стремящееся сохранить его в том состоянии, в котором оно находится, препятствующее всякой попытке вывести его из этого состояния и не позволяющее изменить это состояние ранее, чем это «нечто» будет преодолено. . . Что такое явление в телах происходит, настолько же верно, насколько верно и то, что мы видим, как вращается вокруг нас полая небесная сфера. Таким образом, название инерции позволительно употреблять с таким же правом, как и представление полого небесного свода. Но принимать ее в действительности, да еще называть ее силой, на это мы так же мало имеем права, как и на утверждение о действительном вращении небесного свода»². Кестнер указывает, что эта «сила инерции» обнаруживает много странных особенностей, которые никак не вяжутся с нашим представлением о других силах. Она никогда не проявляет действия, а только оказывает, когда протребует, противодействие. Эта сила выступает как своеобразное «эхо»

¹ Цит. по кн.: А. М. Годыцкий-Цвирко. Научные идеи Руджера Иосипа Бошковича, стр. 64.

² А. Г. Kästner. Anfangsgründe der höheren Mechanik. Göttingen, 1766, S. 12—13.

других сил. У нее нет и никакой определенной величины, поскольку она сопротивляется в большей или меньшей степени в зависимости от того, велика или мала та сила, которой она противится. Таким образом, делает вывод Кестнер, инерция есть не что иное, как закон достаточного основания, приложенный к изменению состояния тел.

Ньютоновское понятие силы инерции полностью отвергает **И. Кант** в своей работе «*Метафизические начала естествознания*», которая посвящена анализу философских оснований механики. Поскольку движение, согласно Канту, может противостоять лишь движению, а не покою, то не инерция материи вызывает сопротивление движущей силе. Сила, которая сама не вызывает движения, представляет собой слово, лишенное смысла. Кант приходит к выводу, что понятие силы инерции должно быть устранено из естествознания, поскольку сам термин заключает в себе противоречие. Вместо силы инерции Кант постулирует закон инерции, который, по его мнению, соответствует категории причинности: любое изменение в состоянии движения имеет внешнюю причину¹. В соответствии со своей трактовкой инерции Кант формулирует и понятие массы. Если для Ньютона масса была носителем силы инерции, а количество материи было пропорционально этой силе, то у Канта масса как мера количества материи выступает в то же время и как мера активности материи, поскольку количество материи, согласно Канту, измеряется количеством движения при данной скорости². Нельзя не отметить, что Кант глубоко понимал взаимосвязь материи и движения в рамках классической механики, и это непосредственно вытекало из его трактовки принципа инерции.

Во второй половине XIX века были сделаны новые шаги в направлении переоценки исходных принципов классической механики. Возникают попытки построения таких систем механики, в которых понятие силы, ввиду его сложности и многозначности, исключалось бы из числа основных, исходных понятий.

В наиболее полном виде эта точка зрения развита **Г. Герцем**. Механика Герца («механика без силы») строится на основе трех независимых базисных понятий: пространства, времени и массы. Для нас интересно отметить, что и новая механика Герца не может обойтись без представлений, близких к обычному закону инерции. Основной закон, связывающий воедино фундаментальные понятия пространства, времени и массы, Герц

¹ См. *И. Кант. Соч.*, т. 6, стр. 160.

² См. там же, стр. 143.

выражает в форме, представляющей весьма тесную аналогию с законом инерции ньютоновской механики: «Каждое естественное движение самостоятельной материальной системы состоит в том, что система движется с постоянной скоростью по одному из своих прямейших путей»¹. Это положение объединяет в один принцип закон инерции и принцип наименьшего принуждения Гаусса². Естественным движением материальной системы является движение по инерции, причем под инерцией здесь понимается любое движение с постоянной скоростью и по прямому пути. Прямым путем Герц называет такой путь, для которого все его элементы имеют одинаковое направление, а кривым — такой, когда направление его элементов изменяется.

Опыт построения «неньютоновской механики» в рамках механики классической говорит о том, что для создания механики как системы, описывающей с единой точки зрения все реальные движения, необходимо сформулировать первоначально некоторый основной принцип, выражающий «естественное движение» систем, который будет аналогичен закону инерции ньютоновской механики.

Поскольку в классической механике — механике силовых взаимодействий тел — инерция выступает как «сила инерции», необходимо привести в систему все значения термина «силы инерции», которые употребляются в механике, или иначе: дать классификацию сил инерции (см. табл. 2).

Понятие «силы инерции» употребляется в механике в трех различных смыслах, которые необходимо строго фиксировать. Прежде всего, необходимо отделить «реальные» силы инерции от «фиктивных» сил инерции. Реальные силы инерции являются мерой взаимодействия конкретных тел друг с другом или характеристикой воздействия одних материальных систем на другие. В отличие от этого в теоретической механике при решении определенного класса задач рассматриваются фиктивные силы — даламберовы силы инерции, которые дают возможность формально записать уравнения движения точки или системы материальных точек в виде уравнения равновесия. Этот формальный прием называется методом кинетостатики. Силы инерции, фигурирующие в кинетостатике, являются фиктивными силами, которые условно приложены к точкам системы.

Понятие даламберовой силы инерции имеет вполне реаль-

¹ Г. Герц. Принципы механики, изложенные в новой связи. М., 1959, стр. 43.

² О принципе наименьшего принуждения см. К. Ланцош. Вариационные принципы механики. М., 1965, стр. 130.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИЛ ИНЕРЦИИ



ный смысл, хотя это «сила» фиктивная по сравнению с реально существующими в природе силами. «В одной области механики этот термин удобен и поэтому имеет право на существование. В так называемой прямой задаче динамики, когда движение тела известно и уравнение движения служит для отыскания силы R_n (динамической силы реакции), термин «даламберова сила инерции» целесообразно сохранить»¹.

Класс реальных сил инерции в свою очередь распадается на два подкласса: первый из них С. Э. Хайкин называет как ньютоновы силы инерции, второй мы будем именовать как неньютоновы силы инерции. Ньютоновы силы инерции по своему происхождению и свойствам ничем не отличаются от всех других сил, которые характеризуют действие тел друг на друга. Специфика их состоит в том, что они проявляются (существуют) лишь в процессах ускорения движущихся или покоящихся тел. «Именно, тех случаях, — пишет С. Э. Хайкин, — когда оказывается оправданным разделение взаимодействующих тел на ускоряемое и ускоряющее, обычно представляется целесообразным различать силы, действующие со стороны ускоряющего тела на ускоряемое и действующие со стороны ускоряемого тела на ускоряющее. И чтобы отличить вторые от первых, силы, действующие со стороны ускоряемого тела на ускоряющее, называют силами инерции»². В этих случаях выполняется третий закон механики Ньютона — равенство действия и противодействия.

Представления о силах как силах взаимодействия, сложившиеся в механике Ньютона, действительны лишь для некоторого класса систем отсчета, а именно для **инерциальных** систем, т. е. систем покоящихся или движущихся равномерно и прямолинейно относительно друг друга. В таких системах выполняются все три закона механики Ньютона, а силы инерции выражают взаимодействия конкретных тел друг с другом. Это — ньютоновы силы инерции.

Однако действие сил инерции на материальные тела мы обнаруживаем и в том случае, когда данные тела не взаимодействуют друг с другом в пределах рассматриваемой системы, но сама система отсчета движется ускоренно по отношению к какой-то метасистеме, которая выступает в качестве неподвижной. Это — особый вид сил инерции, который можно назвать неньютоновыми силами инерции, поскольку они не подчиняются третьему закону механики Ньютона. Два вида сил инерции —

¹ В. Г. Невзглядов. Теоретическая механика, стр. 167.

² С. Э. Хайкин. Силы инерции и невесомость. М., 1967, стр. 125.

ньютоновы и неньютоновы — в определенном отношении сходны друг с другом, ибо они являются результатом взаимодействия тел или результатом воздействия одних материальных систем на другие. Но в более конкретном плане эти виды сил инерции существенно различны, потому что неньютоновы силы инерции не являются «противодействием» по отношению к каким-либо конкретным силовым воздействиям, которые были бы приложены к данной системе.

Неньютоновы силы инерции распадаются на силы инерции переносного движения (а) и **кориолисовы** силы инерции (б). Вводя силы инерции (а) и (б), мы можем уравнениям относительного движения (как оно понимается в теоретической механике) придать вид, формально совпадающий с уравнениями движения в инерциальной системе отсчета¹. Здесь нельзя не видеть некоторой аналогии с тем, как введение даламберовых сил инерции позволяет формально записать уравнения движения в виде уравнений равновесия. По наличию неньютоновых сил инерции (а) и (б) мы можем отличать неинерциальные системы отсчета от систем инерциальных.

Происхождение неньютоновых сил инерции остается до сих пор неясным. Выдвигаются различные гипотезы, направленные на выяснение природы и происхождения сил инерции; одна из таких гипотез (космологическая) излагается в книге С. Э. Хайкина «Силы инерции и невесомость»².

В основе всей классической физики лежит одна фундаментальная идея: это идея о движении тел в однородном (и изотропном) пространстве благодаря их взаимодействиям. Пространство классической физики является трехмерным. Специальная теория относительности обобщает классические представления, вводя четырехмерное пространство—время, однако релятивистская механика не отказалась от основной идеи классической физики. В четырехмерном мире закон инерции также получает обобщенное выражение. Классический закон инерции утверждает, что трехмерный импульс материальной точки, на которую не действуют материальные силы, постоянен. Естественным обобщением этого закона в релятивистской механике является утверждение о постоянстве четырехмерного импульса в отсутствие внешних сил³:

$$G = \text{const.} \quad (26)$$

¹ См., напр.: В. Г. Невзглядов. Теоретическая механика, стр. 223—224.

² См. С. Э. Хайкин. Силы инерции и невесомость, гл. III, § 18.

³ См., напр.: А. Н. Матвеев. Электродинамика и теория относительности. М., 1964, стр. 388.

Еще до возникновения теории относительности, в конце прошлого века представления об инерционных свойствах материи претерпели глубокие изменения. Дж. Дж. Томсон в 1881 г. ввел понятие инертной электромагнитной массы как одной из важнейших характеристик электромагнитного поля. Специальная теория относительности дала этому понятию общее обоснование исходя из формулы взаимосвязи массы и энергии $E = mc^2$.

Инерционные свойства материальных тел в рамках классической физики отождествлялись с инерцией вещественных тел, с законом инерции¹. Понятие электромагнитной массы показало, что инерционные свойства материи не сводятся к механической инерции. Закон инерции применим только для характеристики взаимодействия вещественных тел, тогда как инерционные свойства существенны для всех физических объектов и систем. В нашу задачу входит только анализ принципа инерции, под которым мы понимаем закон инерции и связанные с ним явления; при этом затрагиваются и некоторые вопросы, относящиеся к области инерционных свойств материи вообще.

2. Общая теория относительности и вопрос о природе инерции

Новые подходы к пониманию инерции открываются в связи с созданием общей теории относительности. Рассмотрим кратко основные выводы ОТО и их значение для развития представлений об инерции.

Важнейшим положением общей теории относительности, разработанной А. Эйнштейном, следует считать признание искривленности реального физического пространства—времени. Свойства такого пространства выражаются римановой геометрией, для которой характерны свои инварианты². Кривизна пространства—времени имеет место при наличии полей тяготения, создаваемых тяжелыми массами. В таком виде идеи А. Эйнштейна поддерживаются подавляющим большинством ученых. Исключения составляют сторонники т. наз. «линейной» теории гравитации, которые отрицают кривизну реального пространства—времени.

¹ Были попытки распространить понятие инерционной массы на эфир. Так, О. Френель, рассматривая эфир как материальную среду, принимал во внимание принцип сохранения его массы.

² См. П. К. Рашевский. Риманова геометрия и тензорный анализ. М., 1967, стр. 385; А. З. Петров. Пространства Эйнштейна. М., 1961, стр. 157, 165.

В теории Эйнштейна геометрические свойства пространства—времени, как известно, определяются тензором кривизны, который при наличии полей тяготения, обуславливающих отклонение геометрических свойств пространства—времени от евклидовых, не равен нулю. Геометрические свойства пространства—времени неразрывно связаны с распределением тяготеющих масс и их движением. Связь эта является взаимной. «С одной стороны, отклонения геометрических свойств от евклидовых обусловлены наличием тяготеющих масс, а с другой стороны, движение масс в поле тяготения определяется отклонениями этих свойств от евклидовых. Короче можно сказать, что массы определяют геометрические свойства пространства и времени, а эти свойства определяют движение масс»¹.

Вывод о связи метрики пространственно-временного континуума с распределением тяготеющих масс был сделан Эйнштейном на основе равенства инерционной и гравитационной масс (см. гл. II, § 2). Равенство этих масс привело Эйнштейна к заключению о том, что может быть установлена эквивалентность между движением тел в гравитационном поле и свободным движением тел в неинерциальной системе координат (принцип эквивалентности).

Сам Эйнштейн понимал «принцип эквивалентности» очень широко; он полагал, что этот принцип «знаменует распространение принципа относительности на системы координат, движущиеся неравномерно друг относительно друга»². Однако за последнее время наметилась точка зрения, развиваемая академиком В. А. Фоком и разделяемая другими учеными, согласно которой обобщение принципа относительности на произвольно движущиеся системы отсчета оказывается невозможным. В. А. Фок различает два момента в ОТО, которые до сих пор отождествлялись: (а) принцип относительности как физический принцип и (б) требование ковариантности уравнений, т. е. непротиворечивости уравнений, написанных в разных координатных системах, которое является чисто логическим требованием. В результате фундаментальных исследований В. А. Фок приходит к выводу, что «общий принцип относительности, как физический принцип, который имел бы место по отношению к произвольным системам отсчета, невозможен»³. С этой точки зрения, основным содержанием теории тяготения

¹ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1961, стр. 254.

² А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II. М., 1966, стр. 45.

³ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения, стр. 245 (в тексте — курсив).

Эйнштейна, именуемой как «общая теория относительности», является не обобщение принципа относительности на ускоренные движения, а признание единства метрики пространства—времени и тяготения.

В действительности принцип эквивалентности, согласно которому поле ускорения в каком-то смысле эквивалентно полю тяготения, носит не всеобщий, а локальный характер. Неразличимость полей тяготения и ускорения, когда мы можем вместо движения тел под действием сил тяготения рассматривать свободное движение тел, имеет место лишь в бесконечно малых областях пространства, для которых выполняется условие однородности гравитационного поля. «Таким образом, принцип эквивалентности связан с законом равенства инертной и тяжелой массы, но с ним не тождественен. Закон равенства инертной и весомой массы имеет общий, а не локальный характер, тогда как эквивалентность между полем ускорения и полем тяготения имеет место только локально, т. е. относится только к одной точке пространства. . .»¹

Как видим, в основе ОТО (мы по традиции будем называть теорию пространства, времени и тяготения, развитую Эйнштейном, «общей теорией относительности») лежит идея о единстве инерции и тяготения. Эйнштейн отмечал, что принцип эквивалентности, тесно связанный с теоремой о равенстве инертной и гравитационной масс, «приводит нас к признанию единства природы инерции и тяготения. . . Возможность объяснить численное равенство между инерцией и тяготением на основе единства их природы доставляет общей теории относительности, по моему убеждению, столь большое превосходство над представлениями классической механики, что все трудности, с которыми она сталкивается в своем развитии, следует по сравнению с этим считать незначительными»². Однако у нас нет никаких оснований даже в рамках ОТО говорить о единой сущности инерции и гравитации: речь идет только о локально-кинематической аналогии (эквивалентности) инерции и тяготения, о возможности единого математического их описания и т. п.

В общем плане природа инерции и природа тяготения, так же как и соотношение между ними, остаются еще невыясненными.

Поскольку инерция в ОТО рассматривается как явление, локально эквивалентное тяготению, а тяготеющие массы формируют свойства пространства—времени, то инерция получает в теории Эйнштейна геометрическую интерпретацию. Дви-

¹ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения, стр. 301—302.

² А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II, стр. 45.

жение по инерции (если под этим понимать движение свободной материальной точки) в искривленном пространстве—времени осуществляется не по прямой линии в смысле евклидова пространства, а по геодезическим, мировым линиям. «При геометрическом истолковании сил инерции, а следовательно, и сил тяготения, постулируется существование неевклидова многообразия, в котором частицы, подверженные действию силы, ведут себя как свободные частицы. Их траектории, согласно закону инерции, должны быть обобщением прямых линий евклидова пространства. Но на искривленной поверхности кратчайшими расстояниями между двумя точками являются геодезические линии. ...Эквивалентность между силами инерции и силами тяготения основывается на геометрической структуре мира, а влияния материальных тел проявляется не в том, что они создают силы, а в искривлении пространства»¹.

Классические представления об инерции как о движении тела, предоставленного самому себе, теряют смысл в ОТО, где движение свободной материальной точки определяется метрикой пространства—времени, которая отражает в себе распределение и движение материальных тел. От натурфилософских толкований инерции как «врожденной силы материи» мы переходим к определенной, совершенно строгой ее интерпретации (геометрической), от чисто логических обоснований равномерности и прямолинейности инерционного движения — к доказательным утверждениям о характере движения по инерции. Но при всем этом классические и современные, в смысле ОТО, представления об инерции не оторваны друг от друга, они связаны принципом соответствия: от классического закона инерции, который представляет собой закон сохранения импульса изолированного тела для случая всюду однородного пространства с евклидовой метрикой, мы переходим к рассмотрению движения свободной материальной точки в пространстве с римановой метрикой. Фундаментальную роль в ОТО играет тензор кривизны, выведенный Эйнштейном; тензор кривизны автоматически удовлетворяет законам сохранения энергии и импульса², поэтому он

¹ М.-А. Тоннела. Основы электромагнетизма и теории относительности. М., 1962, стр. 301.

² См. К. Ланцош. Альберт Эйнштейн и строение космоса. М., 1967, стр. 117. О законах сохранения в ОТО см. работы: Дж. Вебер. Общая теория относительности и гравитационные волны. М., 1962, гл. 6; Дж. Синг. Общая теория относительности. М., 1963, гл. IV; К. П. Станюкович. Гравитационное поле и элементарные частицы. М., 1965, ч. I, §§ 11, 17, ч. II, § 3; сб. «Гравитация и топология». М., 1966, стр. 34—49; Н. В. Мицкевич. Физические поля в общей теории относительности. М., 1969, стр. 26—49, 300.

удовлетворяет также сохранению импульса в обычном пространстве, а значит и закону инерции в смысле Ньютона.

В свете идей ОТО существенно изменились наши взгляды на природу физических полей, на законы движения. С точки зрения ОТО, в природе не существует сил тяготения как таковых; движение в гравитационном поле рассматривается как свободное движение материальной точки — движение по инерции в пространстве с римановой метрикой. «Инерция, гравитация и метрическое поведение тел и часов сводится к единому свойству поля, а само поле представлено зависящим от тел. . . Обобщенный закон инерции перенял роль закона движения»¹. Например, планеты обращаются вокруг Солнца не потому, что на них действует сила тяготения; они просто движутся по инерции — по прямым линиям риманова мира, созданного благодаря влиянию массы Солнца, а не плоского евклидова мира, лишенного каких-либо масс.

Классический закон инерции и движение свободной материальной точки в ОТО (обобщенный закон инерции) можно получить вполне единообразно, используя вариационные принципы механики. «Если обратить внимание на первую аксиому механики Ньютона ($v = \text{const}$ для изолированного от внешних воздействий тела), то легко убедиться в ее связи с принципом наименьшего действия. Во-первых, для случая отсутствия внешних сил требование экстремума для интеграла $\int v ds$ дает прямую линию или бесконечность. Последнее мы отбрасываем, так как бесконечных траекторий между двумя точками может быть бесконечно много. Таким образом, мы получаем первую аксиому Ньютона из принципа наименьшего действия. Во-вторых, с точки зрения антропоморфно рассуждающего наблюдателя сохранение состояния сопряжено с наименьшей затратой „действия“»².

Физическая величина, именуемая «действием» (размерность ее: энергия \times время), относится к числу релятивистски инвариантных величин. Она играет большую роль во всей физике.

В четырехмерном мире ОТО движение частицы, свободной от действия внешних сил, можно описать с помощью принципа наименьшего действия:

$$\delta \int_{\tau_1}^{\tau_2} \bar{ds} = 0, \quad (27)$$

¹ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV. М., 1967, стр. 87.

² Л. С. Полак. Вариационные принципы механики, их развитие и применения в физике. М., 1960, стр. 362.

где \bar{ds} — линейный элемент четырехмерного пространства¹.

Возможно ли дальнейшее обобщение закона инерции, т. е. возможны ли более общие подходы к движению свободной материальной точки, чем это дает ОТО? Сама общая теория относительности указала тот путь, на котором мыслимо дальнейшее обобщение представлений об инерционном движении.

СТО объединила в одно целое пространство и время; ОТО сделала следующий шаг, осуществив синтез пространства, времени и гравитационного поля (тяготеющих масс и их движений) на основе геометрических представлений. Согласно ОТО, гравитационное поле формирует метрику пространства—времени; движение свободной частицы рассматривается как чисто геодезическое явление, т. е. как движение частицы в 4-мерном пространстве с римановой структурой. Но помимо гравитационного поля существует электромагнитное поле и другие поля. Эти последние должны давать свой «вклад» в структуру пространства—времени, в отклонение свойств пространства от евклидовых.

Было предпринято множество попыток создания единой теории поля (Эйнштейн, Вейль, Эддингтон, Калуца, Уилер и др.) как единой геометризованной картины мира². Однако все эти попытки не увенчались успехом. Общей причиной неудач является, по-видимому, то обстоятельство, что геометризованные теории поля не отражают квантовых закономерностей, без которых нельзя дать адекватную картину реальных движений.

Вариационные принципы механики раскрывают некоторые новые аспекты инерционного движения как особой формы устойчивости. Выше говорилось о том, что закон инерции в его классической и обобщенной форме может быть получен на основе вариационных принципов механики. Но вариационные принципы сводятся к нахождению некоторых интегралов, которые принимают экстремальное, или иначе стационарное, значение³. Решение вариационных задач состоит в определении условий, при которых эти интегралы имеют стационарное значение. В этом свете инерционное движение тела представляет собой не что иное, как стремление тела двигаться по экстремальной траектории — сохранить состояние движения, которое отвечает требованию экстремальности. Классическая механика исходила из того, что инерционное движение определяется соб-

¹ См. К. Ланцош. Вариационные принципы механики, стр. 371.

² См. П. Г. Бергман. Введение в теорию относительности. М., 1947, ч. III; сб. «Новейшие проблемы гравитации». М., 1961, стр. 42—47; Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., 1962.

³ См. Дж. У. Лич. Классическая механика. М., 1961, стр. 71.

ственными свойствами движущегося тела; ОТО показала, что движение свободного тела обусловлено метрикой пространственно-временного континуума, в котором происходит это движение.

С формальной точки зрения обнаруживается связь действия с вероятностью: принцип наименьшего действия выступает как принцип наибольшей вероятности¹. Если это так, то можно сказать, что движение тела по инерции есть сохранение наиболее вероятной конфигурации движения.

Общая теория относительности, раскрывая единство инерции и гравитации, дает определенные основания для вывода о полевой природе инерции. Сам Эйнштейн писал, что «свойства пространственно-временного континуума, определяющие инерцию, должны рассматриваться как полевые свойства пространства, аналогичные электромагнитному полю»². Полевая природа инерции реализуется через метрические свойства пространства-времени, а не путем воздействия одного тела на другое посредством какого-то особого поля. В локальных областях пространства-времени движение тела в поле тяготения неотличимо от движения тела по инерции; вместо гравитационного поля мы можем рассматривать в этом случае некоторое инерционное поле. С этим обстоятельством связан факт равенства инерционной и гравитационной масс. Исходя из представлений о полевой природе инерции, мы можем вполне единообразно определить гравитационную и инертную массу тела. Х. П. Керес дает следующие определения массы: «Весомая масса тела играет... роль постоянной связи при взаимодействии между телом и внешним гравитационным полем». «Инертная масса играет роль постоянной связи при взаимодействии между телом и инерционным полем»³. С этим можно согласиться. Но трудно согласиться с утверждением автора о том, что «инерционное поле является частным видом гравитационного поля...»⁴ Для такого вывода пока нет оснований. Признание полевой природы инерции, локальная эквивалентность инерции и гравитации, равенство инертной и тяготеющей масс и т. д. — все это не дает нам права говорить, что инерция есть частный случай гра-

¹ См. А. Эддингтон. Пространство, время и тяготение. Одесса, 1923, стр. 177.

² А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II, стр. 44.

³ Х. П. Керес. Единство инерции и гравитации. В кн.: «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев, 1965, стр. 70.

⁴ Там же.

витации. По-видимому, связь инерции и гравитации является более сложной.

Вопрос о природе инерции оказывается тесно связанным с анализом каузальных отношений в области механических и физических форм движения, поэтому мы рассмотрим кратко соотношение инерции и причинности.

3. Инерция и причинность

Механика как наука о движении тел с момента своего возникновения тесно связана с учением о причинности, и это понятно, ибо при рассмотрении того или иного вида движения встает вопрос о его причине.

Исторически первой теорией движения тел (если ее можно так назвать) была концепция Аристотеля, согласно которой все, что движется, движимо чем-то еще, т. е. имеет движущую причину, и движение (действие) прекращается с прекращением причины. Учение Аристотеля о движении было подхвачено томистами и просуществовало вплоть до эпохи Галилея—Ньютона.

Нужна была величайшая смелость мысли и сила абстракции, чтобы преодолеть аристотелевскую динамику. Подлинная картина движений была создана лишь тогда, когда все реальные движения удалось разделить на две составляющие: (а) инерционное движение тел (покой рассматривается как момент движения) и (б) силовое воздействие одного тела на другое. Поскольку закон инерции описывает поведение тела, на которое не действуют никакие внешние силы, то инерционное движение — в большинстве случаев неявно — стало рассматриваться как движение «беспричинное». Причинность же стала отождествляться с силовым воздействием одного тела на другое. В эпоху господства механицизма такая трактовка причинности стала общепринятой (механический детерминизм).

Возникает довольно странная картина: механический детерминизм, требующий строго каузальной обусловленности всех без исключения явлений, сам строится на основе признания некоторых непричинных феноменов. На это обстоятельство указывает Марио Бунге. Он пишет, что «ни механика, ни, следовательно, механистическая философия не являются чисто причинными дисциплинами; по крайней мере ни одна из них не была полностью причинной с XVII века. И механика, и механицизм накладывали фактически ограничение на причин-

ность, поскольку они относят к причине что-то производящее изменение в скорости тел»¹.

Однако признание «беспричинных» явлений в рамках классической механики и механистического мировоззрения было одновременно признанием очень важных для научного мировоззрения идей — самодвижения материи и сохранения движения. Самодвижение и причинность противопоставляются здесь друг другу, потому что понимаются узко, односторонне — только как **механическое** самодвижение и **механическая** причинность. «Короче говоря, принцип механического самодвижения материи, то есть принцип инерции, сформулированный Галилеем, Декартом и Ньютоном, является явно непричинным, так как он утверждает, что некоторый тип изменения, простейший из всех, не требует действующей (внутренне присущей или движущей) причины, то есть, для того чтобы оно сохранялось, не требуется силы или внешнего принуждения»².

Если инерцию рассматривать в рамках самой механики, то она действительно не требует причинного объяснения, так же как не требуют причинного объяснения законы сохранения с точки зрения самой физики. Не все связи и отношения в окружающем нас мире являются причинными. «Каузальность, обычно нами понимаемая, — писал В. И. Ленин, — есть лишь малая частичка всемирной связи...»³ В познании причинных связей очень важно выделить те связи, явления, эффекты, которые требуют причинного объяснения, среди тех связей, которые причинной интерпретации не требуют. «Поэтому беспричинность, — как правильно указывает А. Поликаров, — не обозначает обязательно и всегда индетерминизм, хотя их отождествление практикуется некоторыми идеалистами в целях их спекуляций. Напротив, мы различаем беспричинность как констатацию отсутствия причинных отношений, с одной стороны, и как общесофскую концепцию (=индетерминизм, антипричинность) — с другой»⁴: Во избежание недоразумений, надо всегда указывать, что понимается под «беспричинностью» — неприменимость в данном случае каузального описания или отрицание самой причинности. Этот термин вообще можно исключить из употребления.

О том, насколько важным для науки является умение выде-

¹ М. Бунге. Причинность, стр. 130.

² М. Бунге. Причинность, стр. 132.

³ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 144.

⁴ А. Поликаров. Относительность и кванты. М., 1966, стр. 398.

лить причинные связи и отношения среди связей непричинных, говорит история открытия закона инерции. Тотальная причинная интерпретация явлений, понимаемая в буквальном смысле, не дает возможности обнаружить действительно существующие в той или иной области каузальные отношения. Впервые эту мысль в общем виде ясно осознал, по-видимому, только Ньютон, который сформулировал ее в виде одного из правил исследования природы: «Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений» («Начала», книга третья).

Не существует какого-либо правила, которое давало бы возможность легко отделять «причинные» явления от «непричинных». Макс Борн в этой связи говорит: «Отнюдь не существует априорной ясности в вопросе, какие именно «изменения» физика обязана считать эффектами, которым нужно сопоставлять причину; скорее это должны решать сами экспериментальные исследования»¹. Не только эксперимент это должен решать, но и глубокий анализ логической структуры данной физической теории, а также анализ самой категории причинности в свете достигнутых конкретных наук.

Говоря о причинном описании механического движения, необходимо иметь в виду одно очень важное обстоятельство. Мы выделяем в реальном движении две «компоненты» — причинную и непричинную — лишь в абстракции. В действительности обе эти «компоненты» (инерционные свойства движения и силовое воздействие) неотделимы друг от друга. Ведь закон инерции говорит лишь о возможности покоя или равномерно-прямолинейного движения, он берет идеальный, практически неосуществимый случай «обрыва» всех связей данного тела с другими телами (если же такой «обрыв» связей был все же осуществлен, то мы имели бы уже не физический случай, а просто осуществленную невозможность). К закону инерции применимы слова К. Маркса, относящиеся к закону стоимости: это те случаи, когда закон «осуществляется через свое неосуществление».

Можно сказать, учитывая вышеизложенное, что первый закон Ньютона составляет «непричинную» компоненту реальных движений, а второй закон «причинную» компоненту движений (это еще один аргумент в пользу самостоятельности первого закона в системе основных законов механики). В то же время необходимо подчеркнуть и другой важный момент, а именно то обстоятельство, что только в своей совокупности первый и второй

¹ М. Борн. Эйнштейновская теория относительности. М., 1964, стр. 306.

законы механики служат основой причинного описания механического движения. Эту мысль высказывает Л. С. Полак, причем он даже переносит «причинный» акцент на первый закон: «Существенно... отметить, что первая аксиома Ньютона есть формулировка принципа причинности на языке механики. Вместе со второй аксиомой в ней выражается тот факт, что каждое изменение должно иметь обусловившую его причину... Рассмотрение этой причины как внешней относительно тела, изменяющего свое состояние, есть одна из характерных черт механистического миропонимания. Таким образом, в самой основе механики Ньютона заложен четко сформулированный на языке механики принцип причинности»¹.

«Непричинный» характер закона инерции становится более понятным, если вспомнить, что закон инерции представляет собой закон сохранения импульса для изолированного тела. Законы же сохранения (сам факт их существования) не требуют причинной интерпретации, ибо они выражают в конечном счете сохраняемость материи и движения. Материя со всеми ее атрибутами является «причиной самой себя», поэтому не имеет смысла вопрос о причинах сохранения. Как писал Ф. Энгельс, «мы знаем из опыта и теории, что материя и ее способ существования — движение — несотворимы и, следовательно, являются своими собственными конечными причинами...»² Совсем другой вопрос — это анализ системы законов сохранения, выяснение внутренних связей и отношений в данной системе, анализ связи законов сохранения со свойствами пространства и времени, с внутренней симметрией материальных объектов, при котором обнаруживаются свои отношения детерминации (субординация, координация, корреляция и т. п.). Точно так же не имеет смысла вопрос о причинах движения вообще, ибо движение дано нам вместе с материей как ее атрибут. Мы можем только ставить вопрос, чем обусловлен (причинно обусловлен) тот или иной вид движения, если этот вопрос имеет смысл в данной физической теории, в данной физической ситуации. Так, например, вопрос о причинах инерционного движения в классической механике не ставится и не может быть поставлен, ибо сам закон инерции лежит в основе причинного описания механических явлений.

Можно согласиться с А. Поликаровым, когда он пишет: «Закон причинности предполагает, что а) любое изменение опре-

¹ Л. С. Полак. Вариационные принципы механики, их развитие и применения в физике, стр. 362.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 569.

деляется на фоне некоторой стационарной неизменности, которая не имеет причинного характера, а именно через изменение энергии и импульса, и количественно выражается через соответствующую величину энергии и импульса (T_{ij}); б) он не исключает и других форм детерминации. . .»¹

Силовые взаимодействия в рамках классической механики можно перевести на причинный язык только потому, что всем телам присуща единая закономерность — при отсутствии силовых воздействий сохранять неизменным состояние покоя или равномерно-прямолинейного движения. Однако тот факт, что сам закон инерции не является объектом причинного описания в рамках ньютоновской механики отнюдь не означает, что в области инерционных явлений вообще не существует связей и отношений детерминации, о чем речь будет далее.

Хотя в ньютоновской физике закон инерции как таковой исключается из числа явлений, подлежащих причинному истолкованию, инерционные эффекты рассматриваются как вполне детерминированные. Дело в том, что силы инерции, по которым мы обнаруживаем само существование инерционных свойств материальных тел и их движений, проявляют себя только при ускоренном движении тел. Ускорение же согласно ньютоновской концепции, имеет место по отношению к абсолютному пространству, которое выступает как независимая от вещей сущность. Таким образом, инерционные эффекты в физике Ньютона выступают как проявление абсолютного пространства; последнее играет роль причины или детерминирующего фактора по отношению к инерционным явлениям. Абсолютное пространство проявляет себя как физический фактор, но само не подвергается никаким воздействиям.

Подобные установки характерны не только для ньютоновской физики, но и для специальной теории относительности. Анализируя основы классической физики и СТО, А. Эйнштейн отмечает, что наличие эквивалентных друг другу инерциальных систем отсчета (в которых выполняется закон инерции) «следует рассматривать как независимое свойство пространственно-временного континуума»². Закон инерции вынуждает нас приписать этому континууму абсолютные свойства. Точно так же, как с ньютоновской точки зрения оказалось необходимым ввести постулаты абсолютности пространства и времени, так с точки зрения СТО мы должны принять постулат абсолютности пространственно-временного континуума. В этом последнем утвержде-

¹ А. Поликаров. Относительность и кванты, стр. 427.

² А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II, стр. 43.

нии абсолютный «означает не только «физически реальный», но также «независимый по своим физическим свойствам, оказывающий физическое действие, но сам от физических условий не зависящий».

До тех пор, пока закон инерции рассматривается как краеугольный камень физики, такая точка зрения является единственно оправданной»¹.

Однако такая концепция, указывает Эйнштейн, встречает серьезные возражения. Прежде всего, «представление о чем-то (пространственно-временной континуум), что воздействует само, но на что нельзя воздействовать, противоречит присущему науке методу мышления. Именно это побудило Э. Маха сделать попытку исключить пространство как активную причину из системы механики»².

Говоря о том, что признание одностороннего воздействия пространства (пространства—времени) на поведение тел противоречит присущему науке методу мышления, А. Эйнштейн имеет в виду, конечно, необходимость учитывать при построении физических теорий существование взаимодействий в реальном мире. Чем более фундаментальной является теория, тем глубже она отражает реальные взаимодействия, существующие в мире. Смысл ОТО как раз в том и состоит, что она учитывает взаимную обусловленность свойств пространства и времени, с одной стороны, распределения и движения масс, с другой. Уже на опыте естествознания XIX века Ф. Энгельс сделал вывод о том, что «взаимодействие является истинной *causa finalis*³ вещей. Мы не можем пойти дальше познания этого взаимодействия именно потому, что позади его нечего больше познавать»⁴. Современное естествознание, и в частности ОТО, глубоко подтверждает эту мысль Энгельса.

В ОТО, которая обобщает понятие инерции, рассматривая в качестве инерционного движения геодезическую линию движения свободного тела, «непричинный» подход к инерции сохраняется. Движение по геодезической трактуется здесь как исходная форма самодвижения, не требующая причинного описания; при этом сама причинность понимается в духе классической физики — как силовое воздействие. С этой точки зрения, «общая теория относительности расширяет сферу самодвижения за счет ограничения сферы действия причинности, однако не исключая

¹ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II, стр. 44.

² Там же, стр. 44.

³ Конечной причиной. Прим. ред. соч. Маркса и Энгельса.

⁴ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 546.

причинности, поскольку во всех случаях силы, отличные от гравитации, сохраняются»¹. Если быть последовательным в рассуждениях, то создание единой теории поля вообще исключило бы причинность из рассмотрения, поскольку вместо полей и силовых взаимодействий мы будем иметь дело с движениями свободных объектов в пространстве с некоторой структурой, определяемой всей совокупностью физических полей. «Самодвижение» полностью поглотило бы «причинность». Однако самодвижение не сводится к инерционному движению, а последнее не является какой-то «простейшей» формой самодвижения; точно так же причинность не сводится к силовым взаимодействиям тел. В общем плане самодвижение и причинность неразрывно связаны друг с другом: только движущаяся материя может быть причиной самой себя, только в движении реализуются каузальные отношения и т. п. Да и в конкретных случаях эта связь налицо: причинный подход к описанию механических процессов применим лишь тогда, когда существует инерционный «фон», который рассматривается как форма самодвижения материи.

С более общей точки зрения феномен инерции в ОТО является строго детерминированным. Действительно, инерционное движение по геодезической обусловлено метрикой пространства—времени, а сама эта метрика формируется под воздействием тяготеющих масс.

При разработке ОТО Эйнштейн опирался на некоторые идеи Эрнста Маха, направленные против абсолютного ньютоновского пространства. Обобщив эти идеи, Эйнштейн назвал их «принципом Маха». Концепция Маха строится на основе чисто классических представлений; в отличие от Ньютона, в ней устраняется только понятие абсолютного пространства как активной причины, влияющей на движение тел. Согласно Маху, все процессы в природе зависят от взаимодействия тел, от их взаимного расположения и движения. В соответствии с этим инерция тела (ньютоновы силы инерции) определяется его взаимодействием со всеми другими телами вселенной. Как пишет Э. Мах, «если мы говорим, что тело сохраняет свое направление и скорость в пространстве, то в этом заключается только краткое указание на то, что принимается во внимание весь мир»².

Неньютоновы силы инерции объясняются воздействием на данную систему других материальных систем. «Согласно Маху, — указывает А. Эйнштейн, — материальная точка при

¹ М. Бунге. Причинность, стр. 136.

² Э. Мах. Механика. Историко-критический очерк развития. СПб, 1909, стр. 194.

неускоренном движении движется не относительно пространства, а относительно центра всех прочих масс во Вселенной; таким путем, в противовес механике Ньютона и Галилея, замыкается причинная цепь механических явлений»¹. Длительное время А. Эйнштейн полагал, что идеи Маха согласуются с выводами общей теории относительности. Принцип Маха ведет к признанию относительности инерции, ее зависимости от распределения масс и их относительного движения. Ввиду возможной анизотропии в распределении масс в той или иной области вселенной можно ожидать изменения величины инерции тела в зависимости от направления его движения. Инерция тела должна возрастать по мере скопления весомых масс вблизи него; тело должно испытывать ускоряющую силу, когда близлежащие массы ускоряются, и т. д. Эйнштейн считал, что все эти эффекты, вытекающие из принципа Маха, вполне согласуются с ОТО².

В работе 1918 года «Принципиальное содержание общей теории относительности» Эйнштейн указывает, что ОТО строится на трех основных положениях, которые не зависят друг от друга: это —

- а) принцип относительности;
- б) принцип эквивалентности;
- в) принцип Маха³.

Однако к концу своей жизни Эйнштейн убедился, что принцип Маха несовместим с духом общей теории относительности. В «Автобиографических заметках» А. Эйнштейн писал: «По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я долгое время считал в принципе правильным. Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютонова механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем нетрудно видеть, что такая попытка решения не вяжется с духом теории поля»⁴.

Действительно, общая теория относительности — это полевая концепция, для которой существенным является признание конечной скорости распространения материальных взаимодействий. В отличие от этого концепция Маха строится на принципе

¹ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II, стр. 44.

² См. А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II, стр. 75—76.

³ См. А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. I. М., 1965, стр. 613.

⁴ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 268—269.

дальнейшего: изменение инерционных свойств происходит мгновенно, и это соответствует духу ньютоновской физики.

Вокруг принципа Маха до сих пор идут дискуссии. Задача состоит в том, чтобы выяснить действительное место идей Маха в развитии физических представлений. Б. Г. Кузнецов дает следующую оценку принципу Маха и в связи с этим оценку перспектив развития физической мысли: «Принцип Маха... можно рассматривать как наиболее общий принцип классической физики. Поэтому отказ от указанного принципа представляется самым фундаментальным антиклассическим поворотом научной мысли. Принципу Маха противостоит в качестве нового, более общего принципа научной картины мира фундаментальное обобщение исходных идей теории относительности и квантовой механики, без которого, по-видимому, нельзя решить очередные проблемы физики элементарных частиц и, вероятно, космологии. Обобщение теории относительности и квантовой механики может быть названо фундаментальным, если оно не ограничится частными аспектами, а будет основано на том или ином синтезе принципа относительности и принципа дополнительности — исходных идей Эйнштейна и Бора»¹.

В противоположность этому другие исследователи полагают, что принцип Маха не исчерпал еще своей эвристической силы. Так, Р. Дикке, отмечая качественный характер идей Маха и возможность различного их толкования, делает вывод: «Принцип Маха еще может быть очень полезным для физиков будущего»². В частности ставится задача исследовать все поля далекого действия, которые могли бы в принципе реализовать идею Маха о взаимодействиях, определяющих инерцию. «Так как принцип Маха предполагает, — пишет Р. Дикке, — что удаленное вещество оказывает влияние на лабораторию, то существенно проанализировать все поля далекого радиуса действия, которые нам известны. Они могут оказаться именно теми инструментами, через которые передается маховское взаимодействие»³. Такими полями могут быть бозонные и фермионные поля, соответствующие частицам с нулевой массой покоя и нулевым зарядом.

Как бы ни сложилась в дальнейшем судьба принципа Маха,

¹ Б. Г. Кузнецов. Эйнштейн и принцип Маха. В кн.: «Эйнштейновский сборник. 1967». М., 1967, стр. 134—135.

² Гравитация и относительность. М., 1965, стр. 249.

³ Там же, стр. 231.

для нас важно подчеркнуть, что он представляет собой попытку причинного истолкования инерции, причем попытку, предпринимающую не *ad hoc*, а в связи с выдвиганием достаточно сильных физических идей.

4. Инерционные свойства материальных систем и принципы сохранения

Представляется необходимым рассмотреть в более широком плане соотношение инерционных свойств материальных систем, с одной стороны, и принципов сохранения, с другой. Прежде всего, как соотносятся друг с другом инерционные свойства и феномен сохранения (устойчивости)?

Из рассмотрения инерционных свойств материальных тел и их движений в рамках механики (от классической механики до ОТО) становится ясным, что инерция является одной из форм сохранения, устойчивости в окружающем нас мире. Ф. Энгельс в одном из фрагментов «Диалектики природы» ставит себе задачу разобрать в дальнейшем вопрос о скрытой, покоящейся силе — «объяснить это из отношения между движением и покоем (инерцией, равновесием)...»¹ Здесь Энгельс рассматривает понятие инерции как однопорядковое с такими понятиями, как покой и равновесие, или даже им тождественное. Принцип инерции является одним из принципом сохранения в физике; он тесно связан с другими принципами сохранения, известными в физике.

Однако термин «инерция» часто употребляется в расширительном смысле; это имеет место как в философских исследованиях, так и в конкретных науках. Такая трактовка инертных свойств имеет определенное оправдание: она дает возможность более конкретно подойти к проблеме сохранения (устойчивости) материальных систем и их движений, к выяснению соотношения причинности и сохранения и т. д.

В. И. Ленин, конспектируя «Науку логики», выписывает одну мысль Гегеля, отмечая ее знаком «NB»: «Одна и та же вещь оказывается в одном случае причиной, в другом — действием, там — как своеобразная устойчивость, здесь — как положенность или определение в некотором другом». И немного далее: «Ближайшим образом взаимодействие представляется взаимной причинностью предположенных, обуславливающих одна другую

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 598.

субстанций; каждая есть по отношению к другой одновременно и активная и пассивная субстанция»¹. Взаимодействие есть взаимное изменение тел, систем, при котором одна система выступает как причина изменения другой. При отсутствии внешних и внутренних причин, стремящихся изменить состояние данной системы, эта система сохраняет себя. Это стремление системы к сохранению самой себя, к устойчивости при отсутствии возмущающих факторов может быть охарактеризовано как ее **инерционность**.

Ситуация здесь вполне аналогична инерционным свойствам тел и их движений, с которыми мы имеем дело в механике, а точнее — обобщенное понимание инерционных свойств включает в себя механическую инерцию как частный случай. Обобщенное понимание инерции становится уже не физическим, а общенаучным или философским понятием; оно выражает устойчивость материальных систем, процессов, явлений, а вернее — стремление (никогда в действительности неосуществимое) этих систем, процессов к самосохранению, к достижению стабильности, стационарности и т. п. Если бы этого не было, все материальные структуры самопроизвольно, без всяких на то причин, распались бы, все вещи и процессы утратили бы определенность, — в общем, мир пришел бы в состояние, которое можно обозначить гегелевскими исходными категориями «бытие=ничто». Идя в этом направлении, нетрудно признать и возникновение самой материи или движения из ничего и превращение их в ничто.

Мысль об устойчивости вещей, о том, что вещи при отсутствии внешних воздействий стремятся сохранить свое состояние, высказывалась многими мыслителями домарксовского периода. Так, испанский философ-материалист XVI века Хуан Уарте, формулируя основные принципы, которыми необходимо руководствоваться в философии природы, высказывает мысль о том, что «все сотворенные вещи стремятся по своей природе к самосохранению и желают продолжаться вечно с тем, чтобы никогда не прекратилось то бытие, которое им дали бог и природа, хотя бы они потом получили другую, лучшую природу»². Если отбросить обязательного по тем временам бога, то остается глубокая в своей основе мысль. Декарт в качестве первого закона природы формулирует положение, согласно которому всякая вещь пребывает в том состоянии, в каком она находится, пока

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 143, 145.

² Хуан Уарте. Исследование способностей к наукам. М., 1960, стр. 233.

ничто ее не изменит. Отсюда он, по существу, и выводит закон инерции. Гоббс ставит проблему себестождественности материальных объектов, выражая эту себестождественность термином «индивидуация». Индивидуация — это сохранение телом своего состояния, устойчивость предметов окружающего мира. Тождественность вещи самой себе Гоббс объясняет как неизменностью ее материальной основы (субстрата), так и неизменностью ее формы (структуры). В качестве примеров последнего варианта он приводит реку, воды которой постоянно обновляются, и государство, где меняются люди, хотя в обоих случаях вещь остается той же самой. Возможно, что это был исторически первый подход к пониманию того факта, что (выражаясь на современном языке) структура есть инвариантный аспект системы. Как видим, от признания «инерционного сохранения» нетрудно перейти к пониманию «инвариантного сохранения», т. е. пониманию того, что сохранение есть инвариант изменений.

Признание того факта, что все вещи, процессы, явления как таковые, при «отключении» всех возмущающих факторов, стремятся сохранить свое состояние, не является метафизическим признанием «неизменности» вещей; это лишь признание детерминированности всех изменений. Только на этой основе можно построить теорию динамически инвариантных систем, т. е. систем, стремящихся сохранить свое состояние и при наличии возмущающих факторов (разновидностью их являются гомеостатические системы). Только на этой основе можно понять и процесс развития как процесс самовозрастания **устойчивости** материальных систем, являющийся результатом взаимодействия систем в рамках некоторой метасистемы.

Характеризуя соотношение инерционности, причинности и сохранения, С. Т. Мелюхин пишет:

«Всем конкретным качественным состояниям присуща определенная инерция, существование которой связано с действием принципа причинности и законов сохранения. Для того чтобы любое явление изменилось, должна быть достаточная причина или основание для этого.

Любое состояние движения или форма структурной организации имеет тенденцию к сохранению и как бы противодействует внешним изменяющим факторам.

Применительно к механическому движению эта тенденция достаточно хорошо известна, но аналогичные формы инерции свойственны и другим видам движения, только количественной мерой их будет уже не масса, а совершенно иные свойства. Вы-

ражением инерции состояний является уже сама невозможность беспричинных изменений»¹.

Для всех физических объектов масса является мерой инерционных (и одновременно гравитационных) свойств. По современным представлениям, масса элементарных частиц складывается из трех долей — т. наз. затравочной массы (она соответствует механической массе), собственно полевой и вакуум-полевой массы:

$$m = \mu_3 + \mu_{\Pi} + \mu_{\text{в}}, \quad (28)$$

где m — полная масса частицы;

μ_3 — затравочная масса;

μ_{Π} — полевая масса;

$\mu_{\text{в}}$ — масса, связанная с физическим вакуумом.

Понятие вакуума вводится при условии, что обозначаемое им состояние является инвариантным состоянием относительно «подстановок» в множестве всех наблюдателей². Все виды массы являются мерой инертных свойств физических объектов.

Понятие инерции имеет вполне определенный и строгий смысл только в механике и физике. Однако по аналогии с физической инерцией очень часто различные виды устойчивости, сохранения прямо характеризуются как инерционные свойства. Так, биологи говорят об «инерции размножения». Психологи оперируют понятием «инерция зрения», подразумевая под этим сохранение остаточного, или инерционного, зрительного образа³. Хорошо известна в технике инерционность различных приборов. В матричном исчислении фигурирует закон инерции Якоби—Сильвестра, который гласит о том, что ранг квадратичной формы сохраняется при некоторых преобразованиях⁴. Многие явления легко сопоставить по аналогии инерционным свойствам в смысле механики и физики (например, принцип Ле Шателье в химии). Все это служит оправданием расширительного употребления понятия инерционных свойств, если, конечно, при этом соблюдается элементарное требование — не допускать смешения механической и физической инерции со всеми другими значениями термина «инерция».

Теперь рассмотрим некоторые аспекты в соотношении принципа инерции и принципов сохранения в физике. Характеризуя

¹ С. Т. Мелюхин. Материя в ее единстве, бесконечности и развитии. М., 1966, стр. 92.

² См. В. Е. Тирринг. Принципы квантовой электродинамики. М., 1964, стр. 53.

³ См., напр.: Б. Ф. Ломов. Человек и техника. Очерки инженерной психологии. М., 1966, стр. 132.

⁴ См. Р. Беллман. Введение в теорию матриц. М., 1969, стр. 349.

инерцию, мы говорим, что покоящееся или движущееся равномерно и прямолинейно тело стремится сохранить свое состояние и сопротивляется приложенной силе (ньютоновская врожденная сила сопротивления). В связи с этим невольно возникает представление, что инерция в определенном смысле противостоит движению: инерционное «сопротивление» должно как будто «съедать», гасить часть приложенной силы. Подобно тому как антропоморфный термин сила «вызывает представление, будто сила вообще порождает движение»¹, так и термин «сопротивление» может ассоциироваться у нас с затратой энергии, движения. Ф. Энгельс ставит перед собой задачу всесторонне исследовать понятие силы: «Подвергнуть анализу также и отрицательную сторону — сопротивление, которое противопоставляется перенесению движения»².

Антропоморфный термин «сопротивление» не способствует правильному пониманию инерции. Его просто можно устранить из всех рассуждений, и от этого суть дела выиграет в ясности. Анализируя различные утверждения, в которых говорится о «сопротивлении» тел приложенным к ним силам, С. Э. Хайкин пишет: «либо они не содержат в себе ничего большего, чем то, что содержит второй закон Ньютона, и тогда нужно себе это именно таким образом представлять: рассматривать эти фразы лишь как словесное и потому неточное выражение второго закона движения; либо этими фразами хотят сказать нечто большее, чем то, что утверждается во втором законе Ньютона, но тогда это неверно...»³ «Сопротивление» в смысле инерции — это совсем не то же самое, например, что представляет собой упругое сопротивление в смысле сопротивления материалов.

В общем никакого особого «сопротивления» ньютоновы силы инерции не оказывают приложенным силам. «Как только начинает действовать сила, тотчас же начинается изменение скорости, и это изменение продолжается до тех пор, пока действует сила; так что под словами «сопротивляется изменению» кроется лишь такой смысл: скорость не изменяется без причины, сама по себе, но она начинает изменяться тотчас же, как только начинает действовать сила»⁴. При этом ускорение обратно пропорционально массе тела, которая и выступает как мера инертности данного тела. Под «сопротивлением» в лучшем случае и понимается инертность тела в смысле второго закона механики.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 598.

² Там же.

³ С. Э. Хайкин. Силы инерции и невесомость, стр. 128.

⁴ Там же, стр. 129.

Ньютоновы силы инерции являются силами противодействия, они всегда равны по величине действующим силам и противоположны им по направлению. Равенство действия и противодействия играет роль своеобразного «закона сохранения сил». Оно раскрывает тот факт, что **любое изменение** в материальном мире представляет собой взаимодействие. Без наличия инерционных свойств мы не можем представить себе материальных взаимодействий, а следовательно также и движения.

В заключение этой главы резюмируем основные положения, раскрывающие связь принципа инерции и принципов сохранения в современной физике.

1. Прежде всего, закон инерции представляет собой не что иное как закон сохранения импульса для изолированного тела. В четырехмерном мире мы имеем сохранение 4-мерного импульса. В ОТО закону инерции соответствует движение материальной точки по геодезической.

Заметим, что содержание закона инерции отнюдь не сводится к утверждению, что в отсутствие внешних сил импульс, которым обладает данное тело, остается неизменным. Закон (принцип) инерции относится к числу исходных физических утверждений с весьма богатым содержанием.

2. Ньютоновы силы инерции, являющиеся силами противодействия, всегда равны действующим силам и противоположны им по направлению. Закон равенства действия и противодействия является своеобразным принципом сохранения.

3. Все законы сохранения выполняются лишь в инерциальных системах отсчета — системах, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно. Инерциальные системы физически играют роль замкнутых систем, в которых только и обнаруживаются законы сохранения.

4. Инерциальные системы отсчета являются привилегированными системами — в том смысле, что только в таких системах отсчета законы природы выступают в своем простейшем виде. Все инерциальные системы отсчета эквивалентны друг другу. Каждую из таких систем можно рассматривать как неподвижную, а остальные — как движущиеся.

5. С понятием инерциальной системы тесно связано представление о релятивистской инвариантности. Все законы природы должны быть инвариантными относительно перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой (этот переход выражается преобразованиями Лоренца). Это утверждение является просто иной формулировкой положения об эквивалентности всех инерциальных систем отсчета.

6. Инерционная масса равна гравитационной, и это равенство, играющее фундаментальную роль в общей теории относительности, можно рассматривать как один из независимых принципов сохранения. Вообще говоря, гравитационная масса в принципе делится на пассивную гравитационную массу (масса, на которую действует поле тяготения) и активную гравитационную массу (она является источником поля тяготения). В ньютоновской физике равенство активной и пассивной гравитационной масс следует из закона равенства действия и противодействия¹. Строго говоря, мы должны рассматривать два самостоятельных равенства: (а) равенство инертной массы и пассивной гравитационной массы и (б) равенство инертной массы и активной гравитационной массы.

7. Принцип инерции и принципы сохранения служат основой причинного описания физических явлений. Инерционные свойства материальных систем и процессов, понимаемые в широком смысле, являются выражением их сохраняемости и в то же время выражением невозможности беспричинных изменений.

В общем принцип инерции оказывается очень тесно связанным с проблемой сохранения как в физическом, так и в методологическом плане. Без специального рассмотрения инерционных свойств анализ принципов сохранения в современном естествознании и проблемы сохранения вообще был бы существенно неполным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделаем обобщающие выводы, которые вытекают из проведенного выше исследования.

Принципы сохранения в том или ином виде входят в структуру любой естественнонаучной теории. Мы стремились показать это на примере физики, химии, биологии.

Своеобразный характер принципы сохранения носят в такой синтетической области знания, как кибернетика. Идея инвариантности является одной из руководящих идей в математике.

Анализ показывает, что принципы сохранения входят в структуру процесса познания как процесса отражения внешнего мира в голове человека. Теория отражения — с точки зрения гносеологической, логической, психологической — есть

¹ См. Г. Бонди. Отрицательная масса в общей теории относительности. В сб. «Новейшие проблемы гравитации», стр. 309.

не что иное как **теория инвариантности**, т. е. теория инвариантных переходов от объекта к субъекту и обратно.

По мере развития наших знаний об окружающем мире принципы сохранения все более становятся принципами познания. Соответственно этому понятие сохранения приобретает категориальный характер, т. е. становится орудием научного анализа в самых различных областях знания.

Категория сохранения является родственной таким категориям, как «тождество», «общее», «абсолютное», но не совпадает с ними.

Важно подчеркнуть, что принципы сохранения не сводятся к сумме примеров, взятых из различных областей науки; они входят в структуру любой теории и в структуру процесса познания вообще.

Сохранение выступает как инвариантный аспект изменений. Единство изменения и сохранения характеризует сущность движения во всех его проявлениях. Развитие есть особый вид движения, поэтому процесс развития нельзя правильно понять, если не исходить при этом из признания глубокой внутренней связи изменения и сохранения. Структура движения как единства изменения и сохранения оказывается изоморфной структуре процесса отображения.

Диалектика как наука о связях, движении и развитии не может быть полной, если обращать внимание только на моменты изменчивости в окружающем нас мире. В. И. Ленин подчеркивал: «Развертывание всей совокупности моментов действительности $NB =$ сущность диалектического познания»¹. Изменчивость является лишь одной стороной материального движения, неотделимой от своей противоположности — моментов устойчивости, сохранения. В общей диалектической картине мира изменение и сохранение вполне «равноправны» как противоречивые моменты действительности. Однако при рассмотрении различных сторон действительности, при изучении конкретных явлений специфический интерес могут представлять закономерности изменения или, наоборот, закономерности сохранения.

Можно сказать: «все изменяется», и это будет в определенном смысле правильно, ибо в мире нет ничего абсолютно неизменного. Но можно сказать: «все сохраняется», и здесь также будет доля истины, поскольку все вещи в границах своей меры относительно устойчивы, поскольку ни одна вещь, ни одно явление в мире не исчезают бесследно, они превращаются в нечто другое при обязательном сохранении материи и движения, тех

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 141.

или иных конкретных свойств, отношений и т. д. Оба эти суждения в абстрактной форме фиксируют различные, противоположные стороны единого мирового процесса. В самой действительности изменение и сохранение неотделимы друг от друга, так что нет ни «чистого» изменения, ни «чистого» сохранения.

Диалектико-материалистическая трактовка сохранения формировалась в борьбе как против метафизических представлений, абсолютизовавших момент устойчивости предметов и явлений, так и против религиозно-идеалистических и релятивистских концепций, отвергавших принцип сохранения материи и движения, возводивших в абсолют момент изменчивости в окружающем нас мире и в познании.

Проблема сохранения является одной из древнейших проблем: своими корнями она уходит в глубины первобытного, мифологического мышления. Однако ее общая формулировка наметилась лишь в наше время. Это не случайно. Современная наука с ее мощным синтезом и тонким анализом располагает богатейшим материалом, который дает возможность широко и всесторонне подойти к постановке и решению проблемы сохранения, как и многих других фундаментальных проблем научного познания.

Поскольку различные виды устойчивости, сохранения часто трактуются как проявления инерционных свойств, возникает необходимость специально рассмотреть проблему инерции. Принцип инерции является одним из самых фундаментальных принципов сохранения в физике; он тесно связан со всей системой физических принципов сохранения. Рассмотрение инерционных свойств материальных систем дает возможность более глубоко понять соотношение причинности и сохранения.

Правильное решение проблемы сохранения может дать только марксистская философия. Особое значение для дальнейших исследований в этой области имеют философские идеи В. И. Ленина. «Ленин — первый мыслитель века, который в достижениях современного ему естествознания увидел начало грандиозной научной революции, сумел вскрыть и философски обобщить революционный смысл фундаментальных открытий великих исследователей природы. Он дал блестящее философское истолкование новых научных данных в период крутой «ломки принципов» в ведущих отраслях естествознания»¹. Одна из задач настоящей работы состояла в том, чтобы показать ме-

¹ «К 100-летию со дня рождения Владимира Ильича Ленина». Тезисы Центрального Комитета Коммунистической партии Советского Союза. «Коммунист», 1970, № 1, стр. 10.

тодологическое и эвристическое значение ленинских идей для анализа проблемы сохранения в свете последних достижений науки. В основе такого анализа лежит ленинское учение о материи, фундаментальное положение Ленина об отражении как атрибутивном свойстве материи, ленинское понимание соотношения философии и естествознания.

Труды В. И. Ленина имеют неоценимое значение для современной науки, для дальнейшего развития философской мысли. Ленин бескомпромиссно отстаивал позиции марксистской философии, обогатил философскую мысль новыми выводами, которые получили блестящее подтверждение в успехах современной науки.

Классификация законов сохранения по типам симметрии (инвариантности)

Приложение

	Симметрия (инвариантность)	Законы сохранения	Обобщения
	?	Закон сохранения массы	Сохранение массы — энергии ($E=mc^2$)
Симметрия пространства и времени	Инвариантность относительно трансляций и вращений <ul style="list-style-type: none"> Однородность времени (инвариантность относительно трансляций во времени) Однородность пространства (инвариантность относительно трансляций в пространстве) Изотропность пространства (инвариантность относительно вращений в пространстве) Эквивалентность инерциальных систем (инвариантность относительно вращений в пр.-вр.) 	Нетеровские законы сохранения <ul style="list-style-type: none"> Закон сохранения энергии Закон сохранения импульса Закон сохранения момента импульса Обобщенный закон сохранения движения ЦТ системы 	Сохранение энергии — импульса Сохранение полного момента импульса (сохранение момента импульса и спина)
	CPT-инвариантность <ul style="list-style-type: none"> Симметрия отражения во времени (инвариантность относительно инверсии времени) Симметрия зеркального отражения (инвариантность относительно инверсии координат) Зарядовое сопряжение (инвариантность относительно замены частиц на античастицы) 	Сохранение CPT-чётности <ul style="list-style-type: none"> Закон сохранения T-чётности Закон сохранения P-чётности Закон сохранения C-чётности 	Сохранение дважды комбинированной (CPT) чётности Сохранение G чётности
Внутренняя симметрия элементарных частиц	SU(n)-симметрия <ul style="list-style-type: none"> SU(2) — симметрия (инвариантность относительно вращений в изотопическом пространстве) Унитарная симметрия (инвариантность относительно вращений в унитарном пространстве) <ul style="list-style-type: none"> SU(3) SU(6) и т. д. 	Сохранение абстрактных спиновых характеристик <ul style="list-style-type: none"> Закон сохранения изотопического спина (I, I_z) Закон сохранения унитарного спина и др. 	Объединенная симметрия (инвариантность относительно вращений в обычном и изотопическом пространстве) Релятивистское обобщение унитарной симметрии
	Симметрия волновых функций относительно выбора фазы (инвариантность относительно калибровочных преобразований)	Зарядовые законы сохранения <ul style="list-style-type: none"> Закон сохранения числа нуклонов Закон сохранения барионного заряда (B) Закон сохранения странности (S) Закон сохранения электрического заряда (Q) Закон сохранения лептонного заряда (L): <ul style="list-style-type: none"> сохранение электронного заряда (L_e) сохранение μ-мезонного заряда (L_μ) 	Сохранение гиперзаряда: $Y=B+S$ Обобщенная формула Гелл-Манна и Нишиджимы: $Q = I_z + \frac{S+B-L}{2}$

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
<i>Марков В. А.</i> Проблема сохранения в философии и естествознании	
I. Сохранение как философская проблема	8
1. Из истории вопроса	8
2. Сохранение — инвариант изменений. Сохранение и отражение	34
3. Структурный аспект сохранения, упорядоченность и симметрия	45
4. Сохранение как атрибут материи и категория познания	67
5. Причинность и сохранение	88
6. Соотношение философских и естественнонаучных представлений о сохранении	93
II. Принципы сохранения в современном естествознании	103
1. Закон как сохранение отношений. Законы сохранения	104
2. Принципы сохранения в современной физике	112
3. Химическая форма движения и ее инварианты	140
4. Биологическая организация и сохранение	154
5. Проблема сохранения в кибернетике	174
<i>Даненгириш Г. М.</i> III. Принцип инерции и его философское истолкование	192
1. Эволюция представлений об инерции в классической физике	192
2. Общая теория относительности и вопрос о природе инерции	217
3. Инерция и причинность	224
4. Инерционные свойства материальных систем и принципы сохранения	233
Заключение	239
Приложение	243

Сергей Михайлович

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ
И ПРИНЦИП ИНЕРЦИИ

Ученые записки, том 128

Редактор *Ведин Ю.*, Корректор *Аспере Д.*

Сдано в набор 18 марта 1970 г. Подписано к печати 17 августа 1970 г. Формат бумаги 60×80^{1/16}. 15,25 физ. печ. л. Тираж 1000 экз. Цена 1 руб. 12 коп. Отпечатано в типографии № 6 Комитета по печати при Совете Министров Латвийской ССР, г. Рига, ул. Горького № 6. Зак. № 686. ЯТ 19606.

LU bibliotēka



200023185

PT-75

128