Г. А. Сарданашвили

КРИЗИС НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

ВЗГЛЯД ФИЗИКА

- Живые системы
- Биология нервной деятельности
- Антропоморфность человеческого сознания
- Философия сознания
- Кризис познания
- Антропоморфная математика
- Кризис фундаментальной физики
- Концепция структурализма
- Математическая теория структур
- Структуральная экономика
- Гипотеза бога как универсальной структуры
- Понятие социального капитала в экономике

URSS

ББК 22.1ф 22.3ф 65.23 72.3 72.4 87.1 87.22

Сарданашвили Геннадий Александрович

Кризис научного познания: Взгляд физика / Закл. ст. И. Г. Чаплыгиной.
М.: ЛЕНАНД, 2015. — 256 с.

Современная наука начала XXI века столкнулась с проблемой, что истина, как представление реальности, при научном познании неизбежно оказывается многовариантной и противоречивой. Причиной тому является неуниверсальность, антропоморфность созданной человечеством науки, поскольку возникшая в ходе эволюции форма человеческого мышления посредством суждений специфична и потому заведомо неадекватно отражает реальность. Структура — это, по-видимому, единственное, что доступно изучению в рамках научного познания. Действительно, современная физика представляет материю именно как иерархию структур, и даже масса — это структура. Жизнь тоже может характеризоваться как самовоспроизводящаяся структура. В гуманитарных науках именно структура — общественные отношения — наиболее консервативна и определяет общественную систему как таковую. Поэтому концепция структурализма, развивавшегося в начале XX века в применении к ряду гуманитарных дисциплин, претендует стать общей методологией современной науки, в том числе естественных наук. Ключевым положением является признание самодостаточности структуры с позиции не только гносеологии, но и онтологии. В частности, это предполагает, что структуры могут существовать без носителя и сами по себе коррелировать друг с другом. В книге в основном анализируется пример математики и теоретической физики как наиболее фундаментальных разделов науки, но затрагивается и экономика.

Книга предназначена для широкого круга читателей, интересующихся проблемами современной науки.

Формат 60×90/16. Печ. л. 16. Зак. № ЕУ-97.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978–5–9710–1663–2

© ЛЕНАНД, 2015

17137 ID 193008

9 785971 016632

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

E-mail: URSS@URSS.ru

Каталог изданий в Интернете:

http://URSS.ru

Тел./факс (многоканальный):

+ 7 (499) 724 25 45

URSS

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

Истина многовариантна и противоречива

Ни одно сколько-нибудь сложное явление не описывается единственной теорией. Необходимы несколько теорий, каждая из которых имеет свою область приложения и характеризует только часть или какой-то один аспект явления. Причем на пересечении областей приложения эти теории принципиально не согласуются.

Даже в математике дважды два не всегда — четыре, например, в поле вычетов по модулю три.

URSS

Оглавление

Предисловие 7

О книге. Тезисы 9

Об авторе 22

Главные научные результаты 22

Главные научные публикации 23

Глава 1. Живые системы 27

1.1. Жизнь как самовоспроизводящаяся структура 27

1.2. Имманентные свойства жизни 28

1.3. Земная форма жизни — возникновение и эволюция 30

Глава 2. Биология нервной деятельности 32

2.1. Нервная информационно-управляющая система 32

2.2. Биология человеческого мозга 35

2.3. Нервная деятельность в режимах ответа и самодействия 39

2.4. Механизм символического чувственного восприятия 41

Глава 3. Антропоморфность человеческого сознания 47

3.1. Генезис человеческого сознания 47

3.2. Сенсо-понятия как базовый контент человеческого сознания 50

3.3. Абстрактные понятия как структуры 54

3.4. Ассоциативность понятий 57

3.5. Вербализация человеческого сознания 58

3.6. Когнитивно-чувственное восприятие 60

3.7. Мышление суждениями 61

3.8. Общественное сознание 64

URSS

Глава 4. Философия сознания 67

4.1. Кризис философии как науки 67

4.2. Онтология бытия 70

4.3. Онтология сознания 73

4.4. «Я» и «не-Я» 78

Глава 5. Кризис познания 82

5.1. Познание 82

5.2. Научное познание 85

5.3. Концепция истины 90

5.4. Конвенциональное знание 92

Глава 6. Антропоморфная математика 95

6.1. Эмпиричность теории множеств 96

6.2. Многовариантность и неполнота логики 102

6.3. Теоремы Гёделя о неполноте 106

Глава 7. Кризис фундаментальной физики 111

7.1. Заблуждение Дирака 112

7.2. Материя как иерархия структур 118

7.3. Новая методология физики 119

Глава 8. Концепция структурализма 127

Глава 9. Математическая теория структур 130

9.1. Отношения 130

9.2. Структуры 136

9.3. Композиции структур 140

9.4. Универсальная структура 146

Глава 10. Структуральная экономика 148

Глава 11. Гипотеза бога как универсальной структуры 157

URSS

Дополнение I. Моя научная биография как опыт методологии познания 161

Студенческий период и первые работы 161
Второй период (1973–1978 гг.).....163
Третий период (1978–1990 гг.) 168
Четвертый период (1990–1999 гг.) 172
Пятый период (1999–2012 гг.).....180
Основные научные результаты 188
Другие опубликованные результаты 193
Список научных публикаций (1974–2013 гг.).....194

Дополнение II. Три «сумасшедшие» идеи 207

Дискретное пространство-время 207
Квантовое расширение пространства-времени.....208
Категория праспиноров 210

Библиография 214

Глоссарий терминов..... 217

Предметный указатель 227

Понятие социального капитала в экономике (*И. Г. Чаплыгина*) 235

Введение 235
Из истории формирования термина 236
Институты и ценности.....238
Экономические эффекты «систем ценностей» 240
Особенности системы «обезличенного доверия».....244
Проблема включения в экономический дискурс.....246
Заключение 249
Литература 250

URSS

Предисловие

В конце XX века созданная человечеством наука столкнулась с проблемой, что едва ли ни всякое сколько-нибудь сложное явление не удаётся охарактеризовать полностью и непротиворечиво. Такое явление описывается, как правило, несколькими теориями, каждая из которых представляет только какую-то его часть или аспект, а на пересечении областей применимости эти теории ни только не согласуются, но и в принципе противоречат друг другу. Ввиду общности проблемы, представляется, что её причина коренится не столько в том, что познается, сколько в том, как познается.

Человеческое сознание — единственная известная нам форма разума. Оно представляет собой специфический результат эволюции конкретного вида *Homo sapience* (Человек разумный). Его контент, по происхождению, составляют понятия, а мышление происходит путем суждений. Такое сознание антропоморфно, не универсально и потому заведомо не может адекватно отражать действительность. В результате, истина при научном познании, представляющая реальность системой суждений, неизбежно оказывается многовариантной и противоречивой.

Уже математика как аппарат других разделов науки в своей основе — логике суждений и аксиоматике теории множеств — антропоморфна, поскольку исходит из обыденного человеческого опыта. Она в принципе не формализуема, как это следует из первой и второй теорем Гёделя о неполноте. Причисляемые к главным достижениям математики XX века, эти теоремы устанавливают, что в математической логике первого порядка всякая развернутая (содержащая арифметику) формальная система суждений, если непротиворечива, то неполна, то есть содержит суждение, такое что ни оно само, ни его отрицание не выводимы.

Пример математики свидетельствует, что трудности той или иной модели реальности коренятся, прежде всего, в её построении как системы суждений, которая выражает структуру исследуемой реальности, то есть отношения между её объектами, и, по сути, игнорирует природу этих объектов, если она не проявляется в этих отношениях. Собственно, структура — это единственное, что доступно изучению в рамках научного познания.

Действительно, современная физика представляет материю именно как иерархию структур. Даже масса, всегда рассматривавшаяся в качестве главной, своего рода, онтологической характеристики материи, как бы её сущего, оказывается деривативом взаимодействия полей, то есть структурой.

URSS

Жизнь тоже можно характеризовать как структуру, участвующую в своём воспроизведении, то есть в возникновении себе подобной структуры, которая не могла бы появиться, если бы исходной структуры не было. И так далее, вплоть до сознания и общественных явлений.

Таким образом, именно структура всё более выступает как сущее изучаемой реальности, по крайней мере, в рамках научного познания. Это вновь привлекает внимание к концепции структурализма, развивавшейся в начале XX века в применении к ряду гуманитарных специальностей, как к общей методологии современной науки, в том числе и естественных наук. При этом, ключевым становится признание самодостаточности структуры с позиции не только гносеологии, но и онтологии.

В частности, это предполагает, что структуры могут, во-первых, существовать без носителя и, во-вторых, сами по себе коррелировать (соотноситься) друг с другом. В математике, структура во всех существующих её вариантах вводится на множествах, то есть имеет носитель. В современной физике, однако, оказывается, что множество, на котором определена та или иная структура, само состоит из элементов некоторой структуры. Поэтому одной из ключевых в книге является концепция универсальной структуры, задаваемой на самой себе, носителем которой служат элементы самой этой структуры.

В отличие от естественных наук, специфика гуманитарных дисциплин состоит в том, что исследуемые ими общественные явления не являются в точности ни повторяющимися, ни воспроизводимыми. Завтра общество уже не такое, как сегодня, и никогда таким уже не будет. При этом, хотя объекты общественной системы всё время меняются, именно её структура — общественные отношения — более консервативна и определяет эту систему как таковую.

В данной книге, мы не претендуем на охват всей науки и ограничимся в основном теоретической физикой и математикой. Однако это не делает наш анализ слишком частным. Если иметь в виду универсальную науку, которая представляет интерес не только в конкретных условиях земной человеческой цивилизации, то это именно физика, обслуживающие её разделы математики и квантовая химия.

Что касается гуманитарных наук, то экономика — самая из них, если так можно выразиться, «негуманитарная». Её предмет — отношения в процессе товарного обмена, которые обезличены и определяются только тем, что товар является собственностью и имеет стоимость. С другой стороны, собственность не сводится к сугубо экономической категории и, наравне с познанием и религией, является формой преодоления отчуждения «Я» и «не-Я».

Книга предназначена для широкого круга читателей, интересующихся фундаментальными проблемами современной науки. Для удобства чтения она снабжена подробным Предметным указателем и Глоссарием терминов.

URSS

О книге. Тезисы

В истории человечества XX век — это время полноценного становления и всестороннего развития науки как главного фактора прогресса человеческой цивилизации. Однако уже на рубеже XXI века явно обозначилась проблема, что человеческое мышление не вполне адекватно самой задаче научного познания. Стало понятно, что созданная человечеством наука не универсальна и ограничена по предмету, методологии и, соответственно, результатам познания.

«Любая система суждений или неполна, или противоречива» — вот ключевой методологический принцип современной науки. Это проявляется в том, что всякое сколько-нибудь сложное явление описывается несколькими моделями или теориями, каждая из которых характеризует только какую-то его часть или аспект, а на пересечении областей применимости эти модели не согласуются друг с другом в принципе. При этом, дело не столько в «неисчерпаемости» самого явления, сколько в том, что эволюционно возникшая форма человеческого мышления посредством суждений не универсальна, антропоморфна и поэтому неадекватно отражает реальность. В результате, **истина как представление реальности при научном познании неизбежно оказывается многовариантной и противоречивой**.

В частности, не удаётся избежать определенной неполноты и противоречивости и в самом этом нашем исследовании «антропоморфности» созданной человеком науки в «антропоморфных» же терминах самой этой науки.

В книге я неоднократно апеллирую к математической теории структур (см. *9. Математическая теория структур*), перенося математическое понятие структуры на реальные системы (частности реального). Это возможно, поскольку, если не углубляться в квантовую физику или, с другой стороны, в философию бытия идеального, любая реальная система представляет собой множество, всякое подмножество которого может быть охарактеризовано как математическая структура. Математическая структура задаётся семейством отношений — элементов структуры — на некотором множестве — её ***контенте***. Единственно, что дополнительно возникает при рассмотрении реальной структуры, это сущностная (онтологическая) характеристика объектов, составляющих её контент, и вопросы её существования. Например, мы будем говорить, что объекты такого-то рода составляют ***базовый контент*** некоей данной структуры, если при отсутствии таких объектов в её контенте эта структура не могла бы существовать. Также, контент структуры, который не представляется её элементами, будем называться ***носителем структуры***.

URSS

Обсуждаемый в книге структурализм — научная методология, когда объектом познания являются именно структуры сами по себе, без апелляции к сущности их носителя (см. *8. Концепция структурализма*).

I

Человек — единственный известный нам пример разумной жизни. Человеческое сознание не универсально. Оно представляет собой специфический результат эволюции конкретного вида *Homo sapience* (*Человек разумный*) млекопитающих из семейства гоминид отряда приматов на третьей планете системы желтого карлика на краю ничем не примечательной спиральной галактики (см. *3.1. Генезис человеческого сознания*).

В биологии существуют разные определения «живого», которые в основном характеризуют конкретную форму белковой жизни, существующую на Земле. Наиболее универсальным представляется понимание **жизни как структуры, участвующей в своём воспроизведении, то есть в возникновении себе подобной структуры, которая не могла бы появиться, если бы исходной структуры не было**. Отсюда следует основной методологический принцип познания живой природы: **«Смысл жизни — в самом её существовании»**. Он применим и к человеку как одной из форм жизни. По сути, такие явления человеческого сознания как, например, свобода, мораль и другие, есть проявления имманентных свойств живой природы (см. *1. Жизнь как самовоспроизводящаяся структура*).

Так оказалось, что земная жизнь представлена исключительно белковыми организмами. За исключением вирусов и бактериофагов, это одноклеточные и многоклеточные организмы. Более того, все они имеет одну и ту же биохимию. Можно предположить, что на самом раннем этапе развития жизни на нашей планете произошел своего рода отбор биохимий, и выжила именно эта, поскольку оказалась наиболее успешной в конкретных условиях Земли около 2 млрд лет назад (см. *1.3. Земная форма жизни — возникновение и эволюция*).

Эволюционным преимуществом многоклеточных организмов стала возможность специализации составляющих их клеток, образования структур и систем. Способ питания животных и возможность клеточной дифференциации привели к возникновению у них информационно-управляющих систем — эндокринной и нервной. Деятельность нервной системы основана на свойстве нервных клеток (нейронов) создавать и воспринимать трансмембранный электрический потенциал (см. *2.1. Нервная информационно-управляющая система*).

Свою задачу информационно-управляющего обеспечения существования многоклеточного организма его нервная система выполняет в режиме ответа на внешний чувственный стимул, представляющий реаль-

URSS

ность. **Для этого достаточно не полного, а рационально необходимого, символического, представления реальности**. Поэтому сенсорная информация, составляющая внешний чувственный стимул, сопоставляется с той, которая востребована из памяти. В итоге **формируется скоординированное нервное возбуждение — ощущение, являющееся предъявленным сенсорным символом внешнего чувственного стимула.** Деятельность нервной системы при чувственном восприятии предполагает запоминание сенсорных символов. Корреляционная память наделяет систему сенсорных символов структурой, которая характеризуется как целостность восприятия. Такая целостная система представляет собой чувственный образ реальности (см. 2.4. *Механизм символического чувственного восприятия*).

Нервная система человека — это результат длительного, на протяжении примерно 500 млн лет, развития трубчатой нервной системы хордовых. Человеческий мозг приобрел чрезвычайно сложную и неоптимальную анатомию, когда в ходе многоэтапной эволюции его новые области и структуры образовывались из старых и функционировали наряду со старыми. Таким образом, возникшее у человека сознание имеет очень частную биологическую и психофизиологическую основы (см. *2.2. Биология человеческого мозга*).

В результате нескольких мутаций, изменивших анатомию и физиологию одного или нескольких видов семейства гоминид, они приобрели возможность, **во-первых**, усложнить свою деятельность и тем самым увеличить потребность в коммуникации, **во-вторых**, издавать для этого разнообразные комбинации звуков, **в-третьих**, их мозг оказался способен на новый тип психических операций. В результате появился *Человек разумный*, обладающий специфической формой сознания (см. *3.1. Генезис человеческого сознания*).

У животных распознание чувственного стимула и формирование ощущения происходит посредством его сопоставления с хранящимися в памяти сенсорными символами. Механизм такого сопоставления до сих пор не известен, и, вероятно, оно происходит в некоем режиме совпадения. **Отличие человека как разумного существа от животных состоит в том, что его мозг, по-видимому, оказался способен распознавать чувственные стимулы другим методом**. Поступивший чувственный стимул не является цельным, а распадается на множество конституентов. Его сенсорный символ является результатом корреляции этих составных частей и множества нервных импульсов из разных мозговых центров, в результате чего синтезируется уже целостный, хотя и весьма условный, чувственный образ реальности. Представляется, что **человеческий мозг может создавать своего рода корреляционную схему сенсорного символа и сравнивать сенсорные символы, сопоставляя их корреляционные схемы** (см. *3.2. Сенсо-понятия как базовый контент человеческого сознания*).

URSS

Корреляционная схема сенсорного символа, по-видимому, может формироваться и у животных. Однако **у человека, в отличие от животных, корреляционная схема оказывается отчуждённой от своего сенсорного символа**. У животных сенсорному символу чувственного стимула в целях обмена информацией может быть соотнесен другой сенсорный символ — его знак, например, вербальный, то есть сенсорный символ определенного набора звуков. Такой сенсорный символ активируется при активации его знака, например, при поступлении специфичного для этого знака чувственного стимула, и наоборот. Известно, что животные обмениваются звуковыми и визуальными сигналами. Для определенности будем говорить о вербальных знаках сенсорных символов. Поскольку число звуковых комбинаций весьма ограничено, невозможно каждому сенсорному символу соотнести свой вербальный знак. У человека, при увеличенной потребности коммуникации, такой знак присваивается сенсорным символам, схожим в некотором отношении, то есть имеющим некую совпадающую корреляционную схему. При активации этого знака соответствующие сенсорные символы распознаются и активируются именно по своей специфической корреляционной схеме. Это может означать, что **в связи с вербальным знаком формируется своего рода реплика корреляционной схемы этих сенсорных символов**. Она привязана к вербальному знаку, активируется вместе с ним независимо от сенсорных символов и, таким образом, отчуждена от них (см. *3.2. Сенсо-понятия как базовый контент человеческого сознания*).

Корреляционная схема схожих сенсорных символов, отчуждённая от них и привязанная к их знаку, становится понятием. Трактуемое в терминах математической теории структур, такого рода понятие представляет собой структуру, задаваемую некоторым отношением отбора, которое составляет его смысл и определяет отношение схожести между сенсорными символами, образующими его чувственное значение. Поэтому такие понятия часто именуют чувственными абстракциями, но мы, ради удобства терминологии, будем называть их сенсо-понятиями. Отметим, что животным из-за неразвитости их мозга образование сенсо-понятий недоступно, поскольку это предполагает консолидированную активацию входящих в его чувственное значение сенсорных символов, что задействует ассоциативные зоны коры головного мозга. Именно у *Homo*, в сравнении с другими гоминидами, произошло перераспределение отделов мозга в пользу увеличения более прогрессивных долей — лобной, теменной, височной — с ассоциативными зонами (см. *3.2. Сенсо-понятия как базовый контент человеческого сознания*).

Сенсо-понятия не исчерпывают весь контент человеческого сознания, который включает абстрактные и теоретические понятия. Однако нет и примеров человеческого сознания, свободного от сенсо-понятий. Таким образом, в терминах математической теории структур **специфика челове-**

ческого сознания состоит в том, что его базовый контент образуют сенсо-понятия. Отсюда следует ряд ключевых особенностей человеческого сознания, обусловленных его генезисом.

- **Человеческое сознание оппозиционно внешнему миру**, представленному ему сенсорными символами, как находящимися в памяти, так и предъявленными (ощущениями). Сенсо-понятие не является дериативом составляющих его чувственное значение сенсорных символов. Их активация и корреляции могут быть самостоятельными, не обусловленными сенсорными символами.
- **Как сенсо-понятия, так и абстрактные понятия ассоциативны**. Их смысл оказывается нечетким, поскольку одинаковые чувственные стимулы неизбежно порождают несовпадающие сенсорные символы, которые должны входить в значение одного и того же сенсо-понятия. Будучи ассоциативными, сенсо-понятия, составляющие значение того или иного абстрактного понятия, тоже придают ему ассоциативность. При этом, ассоциативность человеческого сознания является не только его недостатком, но и преимуществом, поскольку обуславливает способность человека оперировать в процессе мышления нечетко определенными объектами.
- **Человеческое сознание вербализовано**. Оно развивалось, будучи стимулированным потребностями коммуникации между людьми. Его базовый контент составляют сенсо-понятия, характеризуемые знаком, присвоенным некоторому семейству схожих сенсорных символов, что обусловлено именно задачей коммуникации. До появления рисунка и письменности коммуникация между людьми осуществлялась, главным образом, посредством звуковых сигналов. Однако и развитие письменности пошло, в основном, по пути лишь визуального кодирования речи вплоть до звуков. Поэтому едва ли ни все понятия человеческого сознания имеют вербальный знак.
- **Вербализация человеческого сознания определяет форму его мышления суждениями**. Действительно, обмен содержательной информацией не может ограничиваться изданием отдельных звуковых сигналов, и поэтому сигналы объединяются в хронологически упорядоченные комбинации — речевые сообщения, которые формируются по тем или иным правилам. Вид коммуникации посредством таких сообщений называется речью. Сигналы, составляющие речевые сообщения, становятся словами, образующими вербальную знаковую систему — язык. Вследствие вербализации человеческого сознания организация речи и процесс мышления с необходимостью должны быть согласованы. В частности, типовое речевое сообщение представляет собой высказывание. Составляющие его слова обозначают определенные понятия, которые объединены в суждение, представленное данным речевым высказыванием.

URSS

- **Человеческое сознание общественно обусловлено**. Коммуникация между людьми возможна только, если их индивидуальные сознания содержат отождествляемые понятия, являющиеся объектом общественного сознания. Поэтому сознание человека конкретно по времени, месту и условиям, обуславливающим индивидуальный опыт человека и коллективный опыт его социума. Если даже иметь в виду коллективный опыт всего человечества, то он заведомо ограничен. Поэтому контент человеческого сознания тоже неизбежно ограничен.

Приведенные особенности человеческого сознания определяют его специфику как частной формы сознания, которую мы будем характеризовать для краткости как ***антропоморфность человеческого сознания*** (см. *3. Антропоморфность человеческого сознания*).

При наличии сознания меняется также само чувственное восприятие. Под воздействием чувственного стимула и при формировании соответствующего ощущения активируется не только тот или иной находящийся в памяти сенсорный символ, но и понятия, в значение которых он входит. Это сказывается на оценке значимости стимула и через мотивационные центры на формировании его сенсорного символа. **В результате возникающее ощущение как бы приобретает смысл, делает чувственное восприятие когнитивным**. Когнитивно-чувственное восприятие, в сравнении с чувственным, предоставляет большую возможность распознания информации для принятия решений по обеспечению жизнедеятельности организма. С другой стороны, ассоциируя с ощущениями понятия, человек расширил свою коммуникативность посредством обмена понятиями. **Поэтому возникшее у *Homo* сознание стало эволюционным фактором** (см. *3.6. Когнитивно-чувственное восприятие*).

II

Проследив генезис человеческого сознания и выявив, тем самым, его антропоморфные особенности, можно пытаться выделить некую универсальную составляющую человеческого сознания, присущую всем формам сознания. Сознание как таковое является предметом философии сознания, которая, однако, в основном сводится опять же к анализу человеческого сознания. Единственно, философия трактует сознание как частность бытия и характеризует его отношением с другими частностями бытия, хотя опять же на примере человеческого сознания (см. *4. Философия сознания*).

Концепция бытия восходит к Парменида и существенно потом варьируется у разных мыслителей. Не углубляясь в этот вопрос, мы лишь констатируем, что в человеческом сознании представление о бытии состоит из частностей, причем, полагается, что всякое представление о частной форме

бытия является частностью представления о бытии как таковом. Таким образом, наше представление о бытии характеризуется отношением частности, и поэтому **бытие в терминах математической теории структур можно характеризовать как универсальную структуру**, такую что всякая структура является её конституентом (см. *4.2. Онтология бытия*).

Конечно, применять математическую теорию структур в онтологии бытия следует неформально, но всё же некоторые сопоставления весьма примечательны. Трактуя бытие как универсальную структуру, **будем систему (частность бытия) называть материальной если она характеризуется как структура с носителем** (то есть её контент не исчерпывается элементами самой структуры). **Соответственно, определим бытие материальное как универсальную структуру на абсолютном универсуме — классе всех множеств**. Но есть структуры без носителя. **Будем называть систему идеальной, если это — абстрактная структура** (то есть реализующаяся на своих элементах). **Соответственно, определим бытие идеальное — как абстрактную универсальную структуру** (см. *4.2. Онтология бытия*).

В философии выделяют две ипостаси бытия: бытие как сущее и бытие как существование. **В терминах структур сущее бытия состоит именно в том, что это — структура.** Материализм отвергает бытие идеальное как существование. Тогда как **сущее бытия материального как структуры с носителем предполагает и его существование**. При этом, не отрицается существование идеальных систем. Они есть и являются конституентами бытия идеального как сущее, но, что касается их существования, они — деривативы материальных систем (см. *4.2. Онтология бытия*).

Концепция сознания тоже восходит к Пармениду, но детально она стала разрабатываться лишь значительно позже, в средние века. При всех различных формулировках, **сознание в философии, так или иначе, характеризуется как «способность соотноситься, сознавать что-то»**. При этом, подразумевается, что сознание — это не только способность соотнесения, но и само соотнесение.

Если следовать такой концепции, **сознание можно характеризовать как структуру, базовыми (то есть присутствующими с необходимостью) конституентами которой выступают соотнесения**. При этом, **сами соотнесения приемлемо трактовать как морфизмы структур** (см. *4.3. Онтология сознания*).

Поскольку субъектом соотнесений является само сознание, это предопределяет различие объектов и субъектов соотнесений и их направленность на то, что соотносится. Поэтому **как об атрибуте сознания говорят, что оно интенционально.** При этом, интенциональность сознания порой трактуют как свидетельство его субъективной обусловленности (см. *4.3. Онтология сознания*).

Способность соотнесения предполагает соотнесения особого рода — самоотнесения. Они в сознании составляют самосознание.

URSS

Тогда соотнесение, которое не является самоотнесением, должно выступать как соотнесение нечто вне сознания в качестве объекта сознанию как субъекту (см. *4.3. Онтология сознания*).

Если обратиться конкретно к человеческому сознанию, то соотнесение ему (как субъекту) реальности в качестве объекта — это ни что иное, как когнитивно-чувственное восприятие. При этом, самоотнесение, очевидно, не может ограничиться сенсо-понятиями, направленными на реальность. Поэтому **базовый контент самосознания человека составляют абстрактные понятия, а механизм самоотнесения — это абстрактное мышление** (см. *4.3. Онтология сознания*).

В терминах математической теории структур, как уже отмечалось, человеческое сознание — это структура, базовый контент которой составляют сенсо-понятия. Последние, наделяемые абстрактными значениями, представляются как структуры на самих себе. Это представление распространяется и на абстрактные и теоретические понятия, которые являются элементами структуры на самих себе, то есть элементами абстрактной структуры. Таким образом, **человеческое сознание — это идеальная система**, и в таком качестве оно представляет собой частность бытия идеального как сущее, являясь при этом деривативом материальной нервной системы (см. *4.3. Онтология сознания*).

Поскольку корреляции понятий, в отличие от сенсорных символов, сами по себе ничем не обусловлены, они могут порождаться своего рода интенциями, что предполагает интенциональность человеческого сознания. И действительно, **человеческое сознание по самому своему происхождению интенционально, поскольку изначально обусловлено задачами коммуникации**. С одной стороны, его интенциональность может быть лишь проявлением имманентной активности, свойственной всему живому, то есть не является трансцендентным атрибутом человеческого сознания. Однако, с другой стороны, интенциональность человеческого сознания не ограничивается утилитарными задачами выживания. Примером тому служит такое явление общественного сознания как искусство (см. *4.3. Онтология сознания*).

Характер соотнесения, присущего сознанию, как соотнесения объекта субъекту переносится на самоотнесения, когда объектом и субъектом является само сознание, и тогда самоотнесения выступает как рефлексия. **Рефлексирующее самосознание — «Я» — составляют самоотнесения как базовые конституенты, объектами которых выступают субъекты тоже самоотнесений.** Соответственно, есть **«не-Я», имеющее своими базовыми конституентами соотнесения, объекты которых не являются субъектами самоотнесений**, то есть находятся вне «Я». Такое «не-Я» включает, во-первых, своего рода **объективное «не-Я», представленное в сознании соотнесениями, объекты которых не является субъектами каких-либо соотнесений**, и, во-вторых, также те самоотнесения, назовем их **субъективным «не-Я», объекты которых — это субъекты соотнесений,**

URSS

но не самоотнесений. Таким образом, схематично, **самосознание подразделяется на «Я» и субъективное «не-Я», а сознание — на «Я» и «не-Я», или на самосознание и объективное «не-Я»** (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

Поскольку объекты соотнесений из «не-Я» не являются субъектами самоотнесений из «Я» и, соответственно, образы соотнесений из «не-Я» не могут быть образами самоотнесений из «Я», можно говорить об **отчуждении «Я» — «не-Я»**. Оно преодолевается, когда образы соотнесения из «не-Я» становятся субъектами самоотнесений из «Я», то есть имеют своими частностями образы таких самоотнесений (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

Если обратиться к человеческому «Я» то входящие в его контент понятия могут ссылаться только на само это «Я», то есть **контент человеческого «Я» составляют теоретические понятия**, не имеющие в своих значениях сенсо-понятий (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

В случае человеческого сознания, **объективное «не-Я» представляет реальность —** частности бытия материального, выступающие как объекты соотнесений с сознанием. Эти соотнесения — проекции в сознание образов когнитивно-чувственного восприятия. Соответственно, **субъективное «не-Я» будем именовать конвенциональной реальностью**. Его конституентами, например, являются представления частностей общественного сознания (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

В случае человеческого сознания отчуждение «Я» и «не-Я» выражается в том, что при когнитивно-чувственном восприятии распознание чувственной информации, представляющей реальность в объективном «не-Я», сопровождается активацией как сенсорных символов, так и сенсо-понятий, в чувственные значения которых они входят. Однако это не относится к теоретическим понятиям, составляющим контент «Я», которые отчуждены и от сенсорных символов, и от сенсо-понятий, поскольку они не входят в значения теоретических понятий. Подобное отчуждение также имеет место между «Я» и субъективным «не-Я». Поэтому сопоставление теоретических понятий тем или иным конституентам чувственного образа реальности может происходить только путем их ассоциирования сенсорным символам. В частности, такое ассоциирование выступает как **познание «не-Я»**. Более того, оно может наделять объект из «не-Я» обратным образом, превращая его в субъект самоотнесения из «Я» и, тем самым, **преодолевая отчуждение «Я» — «не-Я»** (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

Познание является не единственной формой преодоления отчуждения «Я» — «не Я». Отметим ещё следующие две. Во-первых, это — ***религия***. В отличие от познания, создающего образ «не-Я» в «Я», религия наделяет «не-Я» образами из «Я», то есть, как бы, «очеловечивает» реальность. Ещё одной формой снятия отчуждения между «Я» и «не-Я» является **чувство собственности**. Полагая что-то из «не-Я» своим, человек, с одной стороны, воспринимает это что-то как близкое себе и потому неопасное, а с другой стороны объективирует себя в «не-Я» (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

URSS

III

Если рассматривать соотнесения как морфизмы структур, то соотнесение, имеющие нечто своим объектом порождает образ этого объекта в сознании как его частность и, тем самым, предъявляет этот объект сознанию. В рамках онтологии бытия объектами соотнесений, не являющихся самоотнесениями, как уже отмечалось, выступают частности реальности. Будем трактовать такое предъявление частностей реальности сознанию как знание, если его образ — конституент сознания, то есть представление. **Главная проблема состоит в том, что такое знание заведомо неадекватно.** Оно представлено той или иной системой суждений, в соответствии с весьма специфичной антропоморфной структурой человеческого сознания, слабо согласующейся со структурой представляемой реальности (см. *5. Кризис познания*).

Чтобы включить в предмет знания конвенциональную реальность, мы расширим это понятие и определим знание как образ представления, объект которого не является образом самоотнесения из «Я». В случае человеческого сознания, поскольку контент знания как конституента сознания образуют понятия, **знание с необходимостью сопровождается мышлением**. Назовем знание осознанием, если его образ является субъектом самоотнесения, то есть включает в качестве конституента образ какого-либо самоотнесения. В человеческом сознании, поскольку самоотнесения — это элементы самосознания, контент которого составляют абстрактные понятия, осознание с необходимостью предполагает абстрактное мышление. В частности, всякое знание в «Я» является осознанием. Назовем такое осознание познанием, то есть, познание — это представления из «Я», объекты которых находятся в «не-Я». Таким образом, **познание — это представление «не-Я» в «Я»**. Его предметом являются осознаваемые образы реальности и конвенциональная реальность (см. *5.1. Познание*).

В случае человеческого сознания, контент «Я» образуют теоретические понятия. Поэтому **познание является теоретическим знанием**. Поскольку теоретическое знание представляется в человеческом сознании суждениями, **познание с необходимостью предполагает логическое мышление**, хотя вовсе не исключает и другие формы мышления, в частности, образное мышление. **Поскольку форма мышления суждениями является антропоморфной, всякое познание реальности заведомо неадекватно** (см. *5.1. Познание*).

Наука — особая форма познания. **Предмет науки — только воспроизводящиеся (реально или гипотетически) частности реальности**, включая конвенциональную реальность. Наука представляет их образы посредством теоретических суждений, которые характеризуются как закономерности. Поскольку объекты науки — воспроизводящиеся (а не уни-

кальные) явления, и, тем самым, являющиеся общезначимыми, **наука — конституент общественного сознания** (см. *5.2. Научное познание*).

В XX веке наука стала полноценной, развернутой и доминирующей формой познания, главным фактором прогресса человеческой цивилизации. Однако в XX веке обозначился и кризис научного, да и вообще, познания: ещё в начале столетия в математике, а в его конце и в фундаментальной физике. Суть этого кризиса состоит в том, что мышление суждениями весьма специфично, присуще именно человеческому сознанию и, тем самым, является частной антропоморфной, не универсальной, формой мышления. Поэтому **научное знание, заведомо неадекватно: оно неизбежно условно, относительно, многовариантно и противоречиво** (см. *5.2. Научное познание*).

Так, современная ситуация в теоретической физике вынуждает признать, что **никакая сколько-нибудь сложная физическая система не описывается единственной теоретической моделью. Необходимы несколько моделей, каждая из которых имеет свою область приложения и характеризует только часть или какой-то один аспект физической системы. Причем, на пересечении областей приложения эти модели принципиально не согласуются** (см. *7. Кризис фундаментальной физики*).

Однако научное знание многовариантно и противоречиво не только потому, что мышление суждениями неадекватно представляет реальность, но и так как логика суждений сама по себе внутренне не согласована. Среди главных достижений математики XX века называют теоремы Гёделя о неполноте, показавшие, что **в формальной логике непротиворечивая система суждений не обязательно полна, то есть существуют истинные, но не выводимые в рамках этой системы утверждения**. Тем самым, в частности, была установлена принципиальная невозможность формализации математики, предложенной Гильбертом (см. *6. Антропоморфная математика*).

То, что научное познание заведомо неадекватно представляет реальность, ставит вопрос как о правомерности вообще самого критерия адекватности, так и о его содержании, что приводит к концепции истины. Она — порождение древнегреческой культуры и выражала представление древних греков о существовании чего-то объективного, не зависящего от воли людей и даже богов (понятие бытия). А значит, истина как знание бытия превыше всего. Последующие определения истины в большинстве своём тоже наследуют эту традицию и, так или иначе, сводятся к тому, что **истина — это частность знания, адекватно представляющая некоторую частность реальности** (см. *5.3. Концепция истины*).

Истина может быть как позитивистской, так и конвенциальной. **Проблема истинности возникает в отношении именно позитивистского знания — представления реальности**. В рамках рационализма крите-

URSS

рием истинности полагается опыт. Однако опыт всегда ограничен, он может восприниматься по-разному, он порой единичен и невоспроизводим. Поэтому, помимо опыта, выдвигаются и другие критерии истинности знания. Что касается научной истины, то она призвана быть не только результатом научного познания, но и является его целью. Однако научное знание, выраженное системой суждений, заведомо не может адекватно представлять реальность. Поэтому, хотя реальность единственна, что бы ни полагалось истиной, **научная истина неизбежно условна, относительна, многовариантна и противоречива** (см. *5.3. Концепция истины*).

В сравнении с реальностью, конвенциальная реальность как предмет научного познания характеризуется двумя особенностями. Во-первых, она не единственна, поскольку люди сами отбирают умственные образы для изучения. Во-вторых, они, опять же, сами устанавливают правила исследования этих структур. Поэтому **конвенциональное знание истинно постольку, поскольку оно полагается знанием.** Например, в математике, предмет которой — конвенциональная реальность, истинным полагается то, что логически непротиворечиво. Но именно сам этот критерий, основанный на логике суждений, оказался противоречивым (см. 5*.4. Конвенциональное знание*).

IV

В философии структура определяется невнятно как что-то типа: «строение и внутренняя форма организации системы, выступающая как единство устойчивых взаимосвязей между её элементами». В этой книге мы, однако, исходим из понятия математической структуры (см. *9. Математическая теория структур*), адаптируя его к частностям бытия. Более того, **ипостась сущее бытия определяется именно как структура** (см. *4.2. Онтология бытия*). Такое понимание бытия как сущее составляет основу философской концепции структурализма.

Однако мы в основном ограничиваемся рассмотрением структурализма как методологии науки. В таком качестве *структурализм* — **научная методология, когда объектом познания являются структуры сами по себе, без апелляции, вообще говоря, к природе носителя**. С этих позиций, математика как наука о множествах — полностью структуральная наука, объектами которой являются структуры на множествах, а их носители — элементы множеств — характеризуются лишь отношением принадлежности множеству. Именно поэтому, говоря о структурах и методологии структурализма, мы основываемся на понятии математической структуры.

Структурализм как методология научного познания возник в начале XX века в ряде гуманитарных дисциплин: структурная лингвистика и семиотика, этнология, литературоведение, психология и психоанализ, история культуры. Дело в том, что, как уже отмечалось, предметом науки

являются воспроизводящиеся явления. Однако это не совсем так для гуманитарных наук. Общество меняется со временем и невоспроизводимо. При этом, **наиболее устойчивыми в общественной системе оказываются характер и форма общественных отношений, субъектом и объектом которых выступает человек, то есть структура**. Правда, несколько отстранена от других общественных наук экономика, где объектом отношений служит собственность (см. *10. Структуральная экономика*).

Ключевым для концепции структурализма является то, что всякая структура представима конституентом абстрактной универсальной структуры (см. *9.4. Универсальная структура*), а поэтому морфизмы структур и их корреляции могут рассматриваться безотносительно онтологии их носителей как морфизмы абстрактной универсальной структуры с абстрактным носителем — её же элементами. Таким образом, **может иметь место взаимодействие структур самих по себе, без соотнесения их носителей,** по каким-то своим законам или «пристрастиям». Поэтому, когда в рефлексирующем человеческом «Я» находит представление другая структура, последняя может быть ему «интересна» именно как структура.

Подобное взаимодействие совсем разных по характеру структур наблюдается и в общественных системах. Примером может служить такое явление как «общественный капитал» (см.: *Чаплыгина И. Г. Понятие социального капитала в экономике*). Конечно, эти структуры имеют один и тот же носитель — социум. По-видимому, их корреляция обусловлена именно этим. Но **объяснить полностью эту корреляцию на таком «элементном» уровне не удаётся**, как нельзя объяснить, почему данному человеку нравится Пикассо, измеряя трансмембранный электрический потенциал его нейронов.

В конце XX века научная методология структурализма пришла в естественные науки, а именно, фундаментальную физику. Это вызвано тем, что **системы, с которыми современная физика имеет дело, как правило, характеризуются лишь некоторой совокупностью корреляций, причинно-следственная связь и механизм которых в принципе не поддаются анализу**. Поэтому методология их исследования сводится к выбору той или иной модельной математической структуры, в рамках которой эту совокупность корреляций удаётся воспроизвести. Для ряда теорий это оказалось весьма успешным — эйнштейновская теория гравитации, теория элементарных частиц, калибровочная теория фундаментальных взаимодействий, классическая теория поля (см. *7.3. Новая методология физики*).

Моя научная биография иллюстрирует конкретный опыт методологии структурализма в теоретической физике (см. *Дополнение I*).

Чтобы не замыкаться на физике и математике, показалось также уместным представить лаконичное эссе об экономике с позиций структурализма, как структуре, имеющей своим контентом собственности (см. *10. Структуральная экономика*).

URSS

Об авторе

САРДАНАШВИЛИ Геннадий Александрович: физик-теоретик, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры теоретической физики Физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

Область научных интересов: геометрические методы теории поля, классической и квантовой механики; теория калибровочных полей; теория гравитации.

Главные научные результаты

1) калибровочная теория гравитации на натуральных расслоениях, в которой гравитация описывается как хиггсовское поле, наделяющее мировое многообразие редуцированной лоренцевской структурой;

2) исчерпывающая геометрическая формулировка классической теории поля, где классические поля представляются сечениями расслоений, включая:

- дифференциальное исчисление на градуированных расслоенных многообразиях и когомологии вариационного бикомплекса на них,
- лагранжев формализм на расслоениях и градуированных многообразиях в терминах струй бесконечного порядка,
- обобщенные теоремы Нётер для редуцированных вырожденных лагранжевых систем в терминах гомологий,
- преквантовое БРСТ-расширение лагранжевой теории полей, антиполей и духов высшего порядка;

3) ковариантная гамильтонова теория поля на полисимплектических многообразиях;

4) теория классических хиггсовских полей на композиционных расслоениях;

5) геометрическая формулировка нерелятивистской неавтономной механики в терминах расслоений над $\boldsymbol{R}$ и её квантование в форме геометрического квантования симплектических слоений;

6) геометрическая формулировка релятивистской механики в терминах струй одномерных подмногообразий;

URSS

7) обобщение теорем Лиувилля—Арнольда, Нехорошева и Мищенко—Фоменко о координатах «действие—угол» для вполне и частично интегрируемых и суперинтегрируемых гамильтоновых систем на случай некомпактных инвариантных подмногообразий.

Автор курса теоретической физики «*Современные методы теории поля*» («Теорминимум-XXI») в пяти томах:

- *Сарданашвили Г. А. Современные методы теории поля. 1. Геометрия и классические поля* (М.: URSS, 1996); 2-е изд. (2011).
- *Сарданашвили Г. А. Современные методы теории поля. 2. Геометрия и классическая механика* (М.: URSS, 1998).
- *Сарданашвили Г. А. Современные методы теории поля. 3. Алгебраическая квантовая теория* (М.: URSS, 1999); 2-е изд. (2011).
- *Сарданашвили Г. А. Современные методы теории поля. 4. Геометрия и квантовые поля* (М.: URSS, 2000).
- *Сарданашвили Г. А. Современные методы теории поля. 5. Гравитация* (М.: URSS, 2011).

Автор историко-биографических книг, составляющих своего рода трилогию советской физики:

- *Сарданашвили Г. А. Дмитрий Иваненко — суперзвезда советской физики. Ненаписанные мемуары* (М.: URSS, 2010).
- *Сарданашвили Г. А. Я — ученый. Заметки теорфизика* (М.: URSS, 2010).
- *Сарданашвили Г. А. От рассвета до заката: Советская физика в 1950–1979 гг.* (М.: URSS, 2014).

Опубликовал 25 книг и более 350 научных статей.

Основатель и главный редактор (2003–2013) международного журнала по математической физике *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics* (World Scientific, Singapore).

Главные научные публикации

Книги

- *Sardanashvily G., Zakharov O. Gauge Gravitation Theory* (World Scientific, Singapore, 1992).
- *Sardanashvily G. Gauge Theory in Jet Manifolds* (Hadronic Press, Palm Harbor, FL, USA, 1993).
- *Sardanashvily G. Generalized Hamiltonian Formalism for Field Theory* (World Scientific, Singapore, 1995).
- *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. New Lagrangian and Hamiltonian Methods in Field Theory* (World Scientific, Singapore, 1997).
- *Mangiarotti L., Sardanashvily G. Gauge Mechanics* (World Scientific, Singapore, 1998).
- *Mangiarotti L., Sardanashvily G. Connections in Classical and Quantum Field Theory* (World Scientific, Singapore, 2000).

URSS

- *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. Geometric and Algebraic Topological Methods in Quantum Mechanics* (World Scientific, Singapore, 2005).
- *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. Advanced Classical Field Theory* (World Scientific, Singapore, 2009).
- *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. Geometric Formulation of Classical and Quantum Mechanics* (World Scientific, Singapore, 2010).
- *Sardanashvily G. Lectures on Differential Geometry of Modules and Rings. Application to Quantum Theory* (Lambert Academic Publishing, Saarbrucken, 2012).
- *Sardanashvily G. Advanced Differential Geometry for Theoreticians. Fiber Bundles, Jet Manifolds and Lagrangian Theory* (Lambert Academic Publishing, Saarbrucken, 2013).

Статьи

- *Sardanashvily G.* Gravity as a Goldstone field in the Lorentz gauge theory, *Phys. Lett. A* **75** (1980) 257–258.
- *Ivanenko D.* and *Sardanashvily G.* Foliation analysis of gravitational singularities, *Phys. Lett. A* **91** (1982) 341–344.
- *Ivanenko D.* and *Sardanashvily G.* The gauge treatment of gravity, *Phys. Rep*. **94** (1983) 1–45.
- *Sardanashvily G.* and *Zakharov O.* On functional integrals in quantum field theory, *Rep. Math. Phys.* **29** (1991) 101–108.
- *Sardanashvily G.* On the geometry of spontaneous symmetry breaking, *J. Math. Phys*. **33** (1992) 1546–1549.
- *Sardanashvily G.* and *Zakharov O.* On application of the Hamilton formalism in fibred manifolds to field theory, *Diff. Geom. Appl*. **3** (1993) 245–263.
- *Sardanashvily G.* Constraint field systems in multimomentum canonical variables, *J. Math. Phys.* **35** (1994) 6584–6603.
- *Giachetta G.* and *Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum of affine-metric gravity. Generalized Komar superpotential, *Class. Quant. Grav.* **13** (1996) L67–L71.
- *Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum tensors in constraint field theories, *J. Math. Phys.* **38** (1997) 847–866.
- *Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum conservation law in gauge gravitation theory, *Class. Quant. Grav*. **14** (1997) 1371–1386.
- *Sardanashvily G.* Hamiltonian time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **39** (1998) 2714–2729.
- *Sardanashvily G.* Covariant spin structure, *J. Math. Phys*. **39** (1998) 4874–4890.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Nonholonomic constraints in time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **40** (1999) 1376–1390.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Covariant Hamiltonian equations for field theory, *J. Phys. A* **32** (1999) 6629–6642.
- *Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* On the geodesic form of second order dynamic equations, *J. Math. Phys*. **41** (2000) 835–844.
- *Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Constraints in Hamiltonian time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **41** (2000) 2858–2876.
- *Sardanashvily G.* Classical and quantum mechanics with time-dependent parameters, *J. Math. Phys*. **41** (2000) 5245–5255.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Iterated BRST cohomology, *Lett. Math. Phys.* **53** (2000) 143–156.

URSS

- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Cohomology of the infinite-order jet space and the inverse problem, *J. Math. Phys*. **42** (2001) 4272–4282.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Covariant geometric quantization of nonreletavistic time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **43** (2002) 56–68.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Geometric quantization of mechanical systems with time-dependent parameters, *J. Math. Phys*. **43** (2002) 2882–2894.
- *Fiorani E., Giachetta G.* and *Sardanashvily G.* Geometric quantization of time-dependent completely integrable Hamiltonian systems, *J. Math. Phys*. **43** (2002) 5013–5025.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Action-angle coordinates for time-dependent completely integrable Hamiltonian systems, *J. Phys. A* **35** (2002) L439–L445.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Geometric quantization of completely integrable Hamiltonian systems in the action-angle variables, *Phys. Lett. A* **301** (2002) 53–57.
- *Fiorani E., Giachetta G.* and *Sardanashvily G.* The Liouville—Arnold—Nekhoroshev theorem for non-compact invariant manifolds, *J. Phys. A* **36** (2003) L101–L107.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Jacobi fields of completely integrable Hamiltonian systems, *Phys. Lett. A* **309** (2003) 382–386.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Bi-Hamiltonian partially integrable systems, *J. Math. Phys*. **44** (2003) 1984–1997.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Nonadiabatic holonomy operators in classical and quantum completely integrable systems, *J. Math. Phys*. **45** (2004) 76–86.
- *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Noether's second theorem for BRST symmetries, *J. Math. Phys*. **46** (2005) 053517.
- *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Noether's second theorem in a general setting. Reducible gauge theories, *J. Phys. A* **38** (2005) 5329–5344.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Lagrangian supersymmetries depending on derivatives. Global analysis and cohomology, *Commun. Math. Phys*. **259** (2005) 103–128.
- *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* The antifield Koszul—Tate complex of reducible Noether identities, *J. Math. Phys*. **46** (2005) 103513.
- *Sardanashvily G.* Geometry of classical Higgs fields, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **3** (2006) 139–148.
- *Fiorani E.* and *Sardanashvily G.* Noncommutative integrability on noncompact invariant manifolds, *J. Phys. A* **39** (2006) 14035–14042.
- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Quantization of noncommutative completely integrable Hamiltonian systems, *Phys. Lett. A* **362** (2007) 138–142.
- *Sardanashvily G.* Graded infinite order jet manifolds, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **4** (2007) 1335–1362.
- *Fiorani E.* and *Sardanashvily G.* Global action-angle coordinates for completely integrable systems with noncompact invariant submanifolds, *J. Math. Phys*. **48** (2007) 032901.
- *Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* Quantum mechanics with respect to different reference frames, *J. Math. Phys*. **48** (2007) 082104.
- *Sardanashvily G.* Supermetrics on supermanifolds, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **5** (2008) 271–286.
- *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* The KT-BRST complex of a degenerate Lagrangian system, *Lett. Math. Phys*. **83** (2008) 237–252.
- *Sardanashvily G.* Classical field theory. Advanced mathematical formulation, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **5** (2008) 1163–1189.

URSS

- *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* On the notion of gauge symmetries of generic Lagrangian field theory, *J. Math. Phys*. **50** (2009) 012903.
- *Sardanashvily G.* Gauge conservation laws in a general setting. Superpotential, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **6** (2009) 1046–1057.
- *Sardanashvily G.* Superintegrable Hamiltonian systems with noncompact invariant submanifolds, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **6** (2009) 1391–1420.
- *Sardanashvily G.* Relativistic mechanics in a general setting, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **7** (2010) 1307–1319.
- *Sardanashvily G.* Classical gauge gravitation theory, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **8** (2011) 1869–1895.
- *Sardanashvily G.* Lagrangian dynamics of submanifolds. Relativistic mechanics, *J. Geom. Mech.* **4** (2012) 99–110.
- *Sardanashvily G.* Time-dependent superintegrable Hamiltonian systems, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **9** (2012) 1220016.
- *Sardanashvily G.* Graded Lagrangian formalism, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **10** (2013) 1350016.
- *Sardanashvily G.* Geometric formulation of non-autonomous mechanics, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **10** (2013) 1350061.

URSS

Смысл жизни — в самом её существовании.

ГЛАВА 1

Живые системы

Человеческое сознание не универсально. Оно представляет собой специфический результат эволюции конкретного вида белковой жизни на Земле. Поэтому, говоря об антропоморфизме созданной человечеством науки, следует начать с человека как частной формы разумной жизни и, вообще, жизни.

1.1. Жизнь как самовоспроизводящаяся структура

В современной биологии нет исчерпывающего критерия, различающего «живое» и «неживое» — живые и неживые системы. Живые организмы обычно характеризуются совокупностью таких феноменологических признаков, как обмен веществ, способность к движению, раздражимость, способность к размножению, приспособляемость к изменению внешней среды и др. [*Вилли*]. Они свойственны конкретному типу белковых систем, существующему на Земле. Однако, например, вирусы и бактериофаги не всем этим признакам удовлетворяют. Тем более, нет уверенности, что эти критерии применимы к любой форме жизни во Вселенной хотя бы потому, что приведенные выше понятия: обмен веществ, раздражимость, размножение и т. д., содержательны постольку, поскольку они отражают реалии земной формы жизни. Например, нам понятно, что имеется в виду под обменом веществ у клеточных белковых организмов, но дать общее определение обмена веществ весьма затруднительно, поскольку даже непонятно, каких веществ.

Поэтому более широким, апеллирующим к понятию структуры вообще, представляется следующее определение живых систем, или, просто, *жизни*.

> **Жизнь — это структура, участвующая в своём воспроизведении, то есть в возникновении себе подобной структуры, которая не могла бы появиться, если бы исходной структуры не было.**

URSS

Это определение жизни не предусматривает даже размножение, если, допустим, организм воспроизводит (реконструирует) сам себя.

В частности, вирусы, причисление которых к живым организмам дискутируется, вполне подпадают под это определение. С другой стороны, такое явление как кристаллизация, часто упоминаемое в качестве контрпримера, не является жизнью, поскольку она происходит в перенасыщенном растворе, где кристаллов изначально не было.

При отсутствии реальных примеров другой, внеземной, небелковой формы жизни, полезно иметь в виду её гипотетический вариант — разумный Океан в научно-фантастическом романе «Солярис» С. Лема [*Лем*]. Он является живой структурой согласно приведенному выше определению, хотя не удовлетворяет ни одному критерию жизни в биологической науке.

1.2. Имманентные свойства жизни

Определение жизни как самовоспроизводящейся структуры предполагает наличие у нее определенных *имманентных свойств*, без которых она таковой не могла бы быть. Эти свойства присущи и человеку, хотя принимают у него специфическую для разумной жизни форму.

То, что существование любой формы жизни предполагает *воспроизведение* (репликацию), и необходимость участия в воспроизведении себе подобной *живой структуры* можно характеризовать такими понятиями как «смысл» и «мотивация». Правда, такая интерпретация не вполне адекватна, поскольку в человеческом сознании «смысл» и «мотивация» подразумевают наличие «цели», а определение жизни как самовоспроизводящейся структуры никакой «цели» не предполагает. Жизнь — это просто форма существования. Поэтому, с приведенными оговорками, тезис:

> **«Смысл жизни — в самом её существовании»,**

представляется основным методологическим принципом познания живой природы, её имманентных свойств.

Он применим и к человеку как форме жизни. Появление человека как разумной формы жизни было обусловлено тем, что человеческое сознание стало эволюционным фактором, обеспечившим её существование, причем, в конкуренции с другими, в том числе, тоже разумными формами жизни, например, неандертальцами. Что касается всего человечества, то сознание остаётся эволюционным фактором продолжения его существования в постоянно меняющихся условиях этого существования. При этом, отдельные личности и социумы могут ставить перед собой (да и всем человечеством) те или иные цели, часто мотивированные какой-либо концепцией бытия идеального (бога, духа, идеи и т. п.).

В этой связи упомянем, например, *телеологию* Аристотеля о бессознательной целесообразности разума, ставшей античной традицией, но которая потом была постепенно преодолена в рамках христианской культуры и её последующей секуляризации.

Хотя у человечества в целом нет другой миссии, кроме самого его существования, наряду с этим, в общественном сознании сложилось признание самоценности и каждой человеческой жизни. Причем, условия жизни повышают значимость её существования, что стало одним из главных факторов современного экономического развития (см. *10. Структуральная экономика*).

Воспроизведение живой структуры происходит при определенных обстоятельствах по месту, условиям, процедуре и т. п. Само наличие воспроизводящейся структуры меняет эти обстоятельства и вынуждает её апробировать новые возможности: новое «жизненное пространство», новые формы поведения и т. п. Поэтому живая структура, участвующая в возникновении себе подобной, должна быть *имманентно* (сама по себе) *активной*.

У животных эта имманентная активность проявляется как внешне неспровоцированная двигательная активность, но, в отличие от так называемой *спонтанной активности* [*Вилли*], она не обусловлена обеспечением текущей жизнедеятельности организма. Поэтому её имманентный характер представляется как некая внутренняя мотивировка и трактуется как «*желание*» и наличие «*воли*», а возможность реализация такой активности предстает как «*свобода*», и именно «*свобода воли*».

Таким образом, свобода — это имманентное свойство живой природы.

Конечно, используемые понятия: «желание», «воля», «свобода» и другие, опять же не вполне адекватно характеризуют отмеченные явления живой природы, если это не разумная жизнь. Однако, как уже отмечалось, таковы неизбежные издержки представления реальности посредством суждений.

Примером имманентной активности животных может служить миграция, приводящая при удаче к освоению нового «жизненного пространства». К такому роду активности можно, наверное, отнести и любопытство у кошек, их стремление «везде залезть», в отличие от их спонтанной активности, когда, например, голодная кошка начинает всюду рыскать.

Имманентная активность животного подлежит его способности обучаться, вырабатывать новые для него формы поведения. Существует мнение, что обучение — это своего рода процесс решения животным задачи, и, следовательно, животное обладает мышлением, пусть и очень примитивным. Однако эта точка зрения не находит подтверждения. Например, эксперименты показали, что способны обучаться уже кольчатые черви, и предположение наличия у них мышления вело бы к слишком широкому толкованию этого понятия. На самом деле, как проявление имманентной активности животное произвольно совершает те или иные действия. Если

URSS

какое-то из них раз за разом приводит к удовлетворительному для животного результату, оно запоминает эту корреляцию, и такое действие становится приобретенной формой его поведения.

Следует подчеркнуть, что имманентная активность, как и другие имманентные свойства, не является неким «трансцендентным атрибутом жизни». Это эволюционный фактор, и она всякий раз имеет конкретный психофизиологический механизм.

У человека, обладающего сознанием, имманентная активность, по-видимому, подлежит его интенциональности — направленности на нечто, способности сознания быть обусловленным субъективной компонентой и т. п. (см. *4.3. Онтология сознания*). У человека, включенного в общество, имманентная активность порой проявляется как *предприимчивость,* а свобода воли может принимать форму «*свободы, как осознанной необходимости»* (по определению Спинозы, унаследованному потом марксизмом и противопоставленному свободе воли [*Розенталь*]).

Ещё одно имманентное свойство живой природы — это формирование у животных норм целесообразного поведения в интересах выживания вида, что составляет биологическую подоплеку человеческой морали (см. *10. Структуральная экономика*).

1.3. Земная форма жизни — возникновение и эволюция

Земная жизнь представлена исключительно белковыми организмами. Как подтверждено лабораторными экспериментами, органические вещества, включая некоторые аминокислоты (глицин, аланин), могут образовываться из неорганических при определенных условиях, например под воздействием космических лучей (бета-излучения), жесткого ультрафиолетового излучения, электрических разрядов.

Более того, всё живое на Земле имеет примерно одну и ту же биохимию, возможно, за исключением некоторых видов бактерий, обитающих в весьма специфических условиях (например, в серных выбросах глубоководных вулканов). Можно предположить, что на самом раннем этапе развития жизни на нашей планете произошел своего рода отбор биохимий, и выжила именно эта, поскольку оказалась наиболее успешной в конкретных условиях Земли около 2 млрд лет назад (дата весьма приблизительна).

В то время атмосфера Земли не содержала свободного кислорода, а большая часть углерода находилась в форме карбидов металлов, способных вступать в реакцию с водой с образованием ацетилена, который, в свою очередь, мог полимеризоваться, образуя соединения, содержащие длинные цепи атомов углерода. Органические вещества образовывались из неорганических под воздействием физических факторов среды. Большая часть таких реакций происходила в океане, который превратился своего рода в органический «бульон», или на его отмелях, озерах и т. п. [*Никитин*].

URSS

Взаимодействуя, органические вещества образовывали всё более сложные молекулы, например, путем спаривания пуриновых и пиримидиновых оснований. Такие молекулы могли соединяться, образуя коллоидные агрегаты, подобно жидким кристаллам, которые начинали конкурировать друг с другом за сырье. Некоторые из таких агрегатов, типа ферментных систем, обладавших свойством катализировать реакции, становились преобладающими. В результате появились белковые молекулы, способные катализировать синтез себе подобных молекул, вроде «свободных генов», а тем самым и наследовать возможные изменения. Такие «свободные гены» приобрели разнообразие и стали соединяться, образуя примитивные вирусоподобные гетеротрофные агрегаты. В море молекул органических веществ и при отсутствии атмосферного кислорода они получали энергию за счет реакций брожения некоторых из этих веществ [*Вилли*].

Вокруг этих биологических агрегатов стали образовываться белково-липидные мембраны, отделявшие их от окружающей среды, и появились одноклеточные организмы.

Из гетеротрофных организмов развились автотрофы, способные создавать необходимые им органические молекулы путем хемосинтеза или фотосинтеза.

Возникли многоклеточные организмы, в том числе животные, которые появились как многоклеточные гетеротрофы с голозойным питанием, поедающие другие организмы или их части, переваривающие, а затем всасывающие эту пищу.

Воспроизведение предполагает изменчивость, чтобы структура могла существовать в меняющихся внешних условиях, в том числе под действием самой структуры. Механизмом изменчивости многоклеточных организмов являются *мутации*. Мутации спонтанны и хаотичны, но *генетическая изменчивость* в результате мутаций не является хаотической. Она направлена в соответствии с некими внутренними законами развития генов. Возможно, это обусловлено тем, что синтез белка — своего рода технология, представляющая собой упорядоченную систему процессов при множестве обеспечивающих их структур и веществ, включая другие белки. Более того, генетическая изменчивость имеет как бы постоянную скорость, и по числу мутаций, различающих два вида, можно примерно определить, когда эти виды разошлись. Генетическая изменчивость закрепляется путем естественного отбора (или селекции). В результате она принимает характер направленной *эволюции*. Свойства организма, закрепляемые при естественном отборе, называются *эволюционными факторами*.

Развившаяся в результате эволюции земная жизнь чрезвычайно специфична. К сожалению, нам не с чем её сравнить. Вполне естественно предположить существование во Вселенной других форм жизни, хотя, наверное, это весьма редкое явление. По крайней мере, в Солнечной системе, как уже отмечалось, внеземной жизни, по-видимому, нет (если только что-то примитивное в атмосферах газовых гигантов).

URSS

Нельзя испытать одно и то же ощущение дважды.

(подражание Гераклиту)

ГЛАВА 2

Биология нервной деятельности

Если оставаться в рамках науки, носителем человеческого сознания является его нервная система, а конкретно — полушария головного мозга. Нервная система человека — это результат длительной, на протяжении примерно 500 млн лет, эволюции нервной трубки хордовых, и её сформировавшиеся таким путем особенности не могут не определять частности человеческого сознания.

2.1. Нервная информационно-управляющая система

Эволюционным преимуществом многоклеточных организмов является возможность специализации составляющих их клеток и образования структур. Мы ограничимся рассмотрением животного мира.

Способ питания животных и возможность клеточной дифференциации привели к возникновению у них информационно-управляющих систем. Таковыми являются *эндокринная* и нервная системы животных, которые влияют друг на друга.

Нервная деятельность основана на свойстве клеток реагировать на электрическое поле и их способности создавать электрическое поле, поскольку всякая химическая реакция, по сути, является (квантовым) электромагнитным взаимодействием.

Клетки организма, специализированные на нервной деятельности, то есть *нервные клетки*, образуют его *нервную систему*, характеризуемую как структура определенной анатомией (составом, расположением и связями).

Нервным возбуждением называется состояние возбуждения некоторой совокупности нервных клеток, характеризуемое распределением электрического потенциала на клеточных мембранах, их ионной проницаемо-

URSS

стью и, возможно, другими, в том числе биохимическими, показателями (см. *2.3. Нервная деятельность в режимах ответа и самодействия*). Поэтому нервное возбуждение может рассматриваться как структура на множестве нервных клеток. Однако на практике всё, что удаётся, это локализовать область нервного возбуждения, например, при электроэнцефалографии по величине электрического потенциала на внешней стороне клеточных мембран, да и то, лишь при синхронной активности многих тысяч пространственно одинаково ориентированных клеток (например, пирамидных нейронов).

Деятельность нервной системы (*нервная деятельность*) проявляется в образовании (*нервная реакция*), распространении и корреляции нервных возбуждений. В частности, если распространение нервного возбуждения выполняет задачу переноса информации, то говорят о передаче *сенсорной информации*, *нервном сигнале*. Как происходят *корреляция нервных возбуждений*, пока неясно. Можно лишь характеризовать её как нервное возбуждение, которое не существовало бы при отсутствии какого-нибудь одного из коррелирующих нервных возбуждений. Любая нервная деятельность, за исключением, пожалуй, только простейшей рефлекторной реакции, включает корреляцию. Благодаря запоминанию, возможна также корреляция следующих один за другим нервных возбуждений. Будем называть это *хронологической корреляцией*.

> **В самом общем виде, в терминах математической теории структур, нервную деятельность можно определить как структуру, контент которой составляют нервные возбуждения.**

Элементами такой структуры являются отображения $M \to M$ (нервная реакция), $M \times R \to M$ (распространение) и $\overset{n}{\times} M \to M$ (корреляции), где M — множество всевозможных нервных возбуждений и $\boldsymbol{R}$ — это ось времени (см. *9.1. Отношения*). Поскольку нервные возбуждения $m \in M$ (нервная реакция) сами являются элементами нервной деятельности (как отношения отбора $\{m\} \subset M$), последняя, тем самым, представляет собой идеальную систему (абстрактную структуру), будучи, однако, дериватом материальной нервной системы.

Выделяют несколько типов нервной системы [*Вилли*].

Животные с *диффузной нервной системой* (кишечнополостные) обладают нервной сетью без нервных центров. Её нервная деятельность сводится к тому, что нервное возбуждение распространяется во всех направлениях (диффундирует) от очага раздражения, при этом нервные клетки побуждают мышечные клетки к сокращению. Если нервная сеть достаточно структурирована, такие животные (например, актинии) обладают способностью к избирательным реакциям.

URSS

Более развитым вариантом является *стволовая нервная система*, когда некоторые нервные клетки собираются в нервные стволы при сохранении диффузной сети (плоские черви, нематоды, первичноротые и др.).

Животные с *узловой* (*ганглионарной*) *нервной системой* (кольчатые черви, членистоногие, моллюски и др.) имеют сеть нервных узлов, которые могут быть специализированы и объединяются развитыми связями в сложные конгломераты, например, в главный головной нервный узел. Такая нервная система уже может обеспечить модификационное поведение, включая примитивные формы обучаемости.

Нервная система позвоночных, в том числе млекопитающих и человека, представляет собой эволюцию *трубчатой нервной системы* хордовых.

Нервными клетками у всех животных служат особые клетки — *нейроны*. Хотя строение нейронов весьма многообразно, в нейроне обычно различают три части: 1) *тело нейрона* (диаметром порядка 0.1 мм); 2) отходящий от тела длинный (до нескольких метров) *аксон*, иногда с боковыми ветвями (*коллатералями*), оканчивающийся группой концевых разветвлений; 3) короткие очень разветвленные *дендриты*. Тело нейрона выполняет метаболические функции, связанные с жизнедеятельностью и ростом клетки. Дендриты специализированы для приема нервных сигналов, поступающих из внешней среды и других нервных клеток. Аксоны предназначены для передачи нервного возбуждения в область, удаленную от зоны дендритов. Их окончания могут выделять химические вещества, которые обеспечивают передачу нервного сигнала другому нейрону или, например, запускают секреторную реакцию. Именно пучки аксонов составляют то, что обычно называют *нервами*.

В функциональном отношении нейроны подразделяются на *чувствительные* (*сенсорные*), двигательные (*моторные*) и *вставочные* (промежуточные). Чувствительные нейроны либо сами служат *рецепторами*, либо передают сенсорную информацию от рецепторов. Моторные нейроны проводят нервные сигналы к *эффекторам* (мышцам, железам). Вставочные нейроны соединяют между собой другие нервные клетки. Тела нейронов обычно сгруппированы в нервные узлы — *ганглии* — пронизанные вставочными нейронами.

Комплексность даже самых простых, рефлекторных, реакций предполагает, что сенсорные и моторные нейроны связаны, как правило, через вставочные нейроны. У позвоночных вставочные нейроны образуют *центральную нервную систему — мозг*. У сенсорных и моторных нейронов один конец лежит в центральной нервной системе, а другой связан с рецепторами и эффекторами на периферии. Сенсорные и моторные нейроны образуют *периферическую нервную систему* и *вегетативную нервную систему*, идущую к внутренним органам. Причем, вне мозга находятся тела только сенсорных нейронов, образующие ганглии вблизи мозга, и тела некоторых моторных нейронов вегетативной нервной системы.

2.2. Биология человеческого мозга

Центральная нервная система всех позвоночных имеет схожее строение. Она подразделяется на *спинной мозг* и *головной мозг*, который представляет собой расширенный передний конец спинного мозга. И тот и другой состоят из двух типов ткани: *серого вещества*, образованного телами нейронов, и *белого вещества* — пучков аксонов и дендритов. Спинной мозг передает нервные сигналы, идущие в головной мозг и из него, и служит рефлекторным центром. Аксоны и дендриты его белого вещества разделены на пучки со сходными функциями — *восходящие* (*афферентные*) и *нисходящие* (*эфферентные*) *пути*.

Для дальнейшего изложения мы ограничимся рассмотрением наиболее изученного примера нервной системы и головного мозга человека, ссылаясь на существование тех или иных аналогичных явлений нервной деятельности у млекопитающих и даже беспозвоночных.

Головной мозг человека имеет чрезвычайно сложную и, можно сказать, неоптимальную анатомию [*Синельников*]. Это обусловлено не только многообразием выполняемых им функций, но и тем, что он — результат многоэтапной эволюции, когда в нем новые области, структуры и связи образовывались из старых и наряду со старыми. В мозге человека выделяют *полушария* (*конечный мозг*), *ствол* (*продолговатый мозг*, *варопиев мост*, *средний мозг*, *промежуточный мозг*) и *мозжечок* (*малый мозг*). Последние пять отделов головного мозга называют *нижними*. Они обеспечивают автоматические рефлекторные формы поведения, которые определяются самим анатомическим строением этих отделов.

Продолговатый мозг состоит из нервных путей, идущих к другим отделам головного мозга, а также включает рефлекторные центры, регулирующие ряд физиологических процессов: дыхание, сердечную деятельность, пищеварение, тонус (расширение и сужение) кровеносных сосудов, тонус скелетных мышц, защитные рефлексы (кашель, чихание, глотание) и др.

Мозжечок обеспечивает координацию движений, координацию равновесия и регуляцию мышечного тонуса. Мозжечок получает копию *афферентной* (сенсорной) информации, передаваемой из спинного мозга в кору полушарий головного мозга, а также *эфферентной* (моторной) — от двигательных центров коры полушарий к спинному мозгу. Первая сигнализирует о текущем состоянии регулируемых систем, а вторая даёт представление об их требуемом состоянии. Сопоставляя первое и второе, кора мозжечка рассчитывает ошибку, о которой сообщает в двигательные центры.

Варолиев мост проводит импульсы из одного полушария мозжечка в другое, координируя движение мышц на обеих сторонах тела. Его базилярная часть в процессе эволюции появилась лишь у млекопитающих для соединения коры головного мозга через средние ножки с мозжечком. В ней находятся преимущественно поперечные волокна и лежащие между ними

ядра моста, в которых переключаются нисходящие от коры полушарий корковомостовые пути и начинаются мостомозжечковые.

Средний мозг соединяет все отделы головного мозга. В нем расположены как проводящие пути к таламусу и большим полушариям, так и нервные центры, обеспечивающие зрительные и слуховые ориентировочные рефлексы (например, согласованное движение глаз и головы в сторону раздражителя), а также регуляцию мышечного тонуса и позы.

Промежуточный мозг подразделяется на таламическую (таламус, эпиталамус, субталамус и метаталамус) и гипоталамическую части. *Таламус* выполняет функцию перераспределения информации от органов чувств, за исключением обоняния, к коре головного мозга. Нервные волокна из спинного и низших отделов головного мозга образуют здесь синапсы с нейронами больших полушарий. Сенсорная информация поступает в ядра таламуса. Можно выделить четыре основных ядра, перераспределяющих зрительную, слуховую, тактильную информации и чувство равновесия и баланса. Таламус также координирует внешние проявления эмоций: удовольствия, страха, агрессии.

В *гипоталамусе* находятся центры регуляции внутреннего состояния организма, вегетативных процессов: терморегуляции, аппетита, водного баланса, сна, углеводного и жирового обмена. Гипоталамус связан с корой и *лимбической системой*, объединяющей ряд структур головного мозга и обуславливающей регуляции функций внутренних органов, обоняния, инстинктивного поведения, эмоций, памяти, сна, бодрствования. Гипоталамус контролирует деятельность эндокринной системы человека благодаря тому, что его нейроны способны выделять *нейрогормоны*, стимулирующие или угнетающие выработку гормонов *гипофизом*. Вместе с гипофизом он образует центр регуляции эндокринных функций и объединяет нервные и эндокринные регуляторные механизмы в общую *нейроэндокринную систему*.

Конечный мозг состоит из двух полушарий, разделенных продольной щелью и соединенных в глубине этой щели *мозолистым телом*, передней и задней спайками и спайкой свода. В полушариях объединены три системы: *обонятельный мозг*, *базальные ядра* и *кора полушарий* (плащ).

Полушария развились как выросты переднего конца головного мозга. У млекопитающих они растут назад, наползая на другие части мозга. Полушария человека содержат более половины всех нейронов его нервной системы. Они состоят из белого и серого вещества. Серое вещество, образованное телами нейронов, находится на поверхности, составляя кору головного мозга и накрывая белое вещество из нервных волокон. В глубине полушарий также расположены нервные центры из серого вещества — ганглии. Поскольку нейроны — это очень большие и разветвленные клетки, именно по количеству и расположению их тел (то есть серого вещества) можно характеризовать количество и локализацию нейронов.

Кора полушарий покрыта *бороздами*, подразделяющими её на доли и *извилины*, которые также располагаются и на извилинах, увеличивая площадь коры, 2/3 которой залегает в глубине борозд. Именно увеличение числа нейронов, тела которых должны быть расположены в коре головного мозга, приводит к возникновению в ней борозд и извилин. При этом масса мозга у разных людей может существенно разниться (от 1100 до 2000 г), но никак не характеризует их умственные и прочие способности.

Различают *древнюю*, *старую*, *среднюю* и *новую кору*, причем последняя составляет 96 % от всей поверхности полушарий. По морфологическим особенностям кора подразделяется на *слои*, количество которых в разных её областях варьируется. Выделяют шесть основных слоев. Приведем их описание, чтобы проиллюстрировать степень структурированности мозга человека.

I. **Молекулярный**. Он образован в основном горизонтальными волокнами восходящих аксонов, включая неспецифические афференты от таламуса. В нем также заканчиваются ветви верхушечных дендритов IV слоя коры.
II. **Наружный зернистый**. Этот слой состоит из *звездчатых* и мелких *пирамидных клеток*, аксоны которых заканчиваются в III, V и VI слоях, то есть участвует в соединении различных слоев коры.
III. **Наружных пирамид**. Он имеет два подслоя. Внешний состоит из более мелких клеток, которые осуществляют связь с соседними участками коры. Внутренний подслой содержит более крупные клетки, которые участвуют в образовании связей между двумя полушариями.
IV. **Внутренний зернистый.** Он включает клетки: зернистые, звездчатые и мелких пирамид. Их восходящие дендриты поднимаются в I слой коры, а базальные (от основания клетки) опускаются в VI слой коры, то есть участвуют в осуществлении межкорковой связи.
V. **Ганглионарный**. Его основу составляют гигантские пирамиды (клетки Беца). Их восходящие дендриты простирается до I слоя, базальные дендриты идут параллельно поверхности коры, а аксоны образуют проекционные пути к базальным ядрам, стволу и спинному мозгу.
VI. **Полиморфный**. Аксоны его клеток направлены преимущественно вниз и образуют ассоциативные и проекционные пути, переходящие в белое вещество головного мозга.

Клетки различных слоев коры объединены в модули (перпендикулярные поверхности коры колонки из 10–1000 клеток), которые представляют собой структурно-функциональные единицы, выполняющие определенные функции.

Межнейрональные взаимосвязи нейронов коры полушарий головного мозга можно представить следующим образом: афферентная информация поступает из таламуса по таламо-кортикальным волокнам, которые закан-

URSS

чиваются на клетках IV слоя. Его звёздчатые нейроны оказывают возбуждающее воздействие на пирамидные клетки III и V слоёв. Клетки III слоя образуют волокна (ассоциативные и комиссуральные), связывающие между собой различные отделы коры. Клетки V и VI слоёв формируют проекционные волокна, которые уходят в белое вещество и несут сенсорную информацию другим отделам центральной нервной системы. Во всех слоях коры находятся тормозные нейроны, играющие роль фильтра путём блокирования пирамидных нейронов.

В коре полушарий головного мозга различают *сенсорные*, *моторные* и *ассоциативные зоны*. Сенсорные зоны отвечают за обработку информации, поступающей через другие отделы мозга от органов чувств, направляя её для анализа в ассоциативные зоны и получая ответ: затылочные — за зрение, височные — за слух, обоняние и вкус, теменные — за кожную и суставно-мышечную чувствительность. Ассоциативные зоны расположены в лобных долях мозга. У человека ассоциативная зона занимает около 75 % коры головного мозга, у животных она значительно меньшая. Ассоциативные зоны получают и анализируют информацию из сенсорных зон, сопоставляя с той, что хранится в памяти, и инициирует скоординированную активность моторных зон. Моторные зоны расположены в задних областях лобных долей, откуда идут команды для сокращения скелетной мускулатуры.

На поверхности коры полушарий выделяются отделы, отличающиеся по своей цитоархитектонике (строению на клеточном уровне). Наиболее признанной считается карта К. Бродмана, выделяющая 52 таких отдела (поля). Именно на них происходит локализация тех или иных функциональных центров. Например, зрительный центр локализуется на *полях Бродмана* 17, 18 и 19, а слуховой — на полях 41, 42 и 52 и т. д.

Связи коры полушарий осуществляются через *комиссуры*, то есть структуры, состоящие из поперечно расположенных по отношению к полушариям волокон. Это — передняя спайка мозга, задняя спайка свода, мозолистое тело. На верхней поверхности мозолистого тела располагаются структуры обонятельного мозга.

В центральном веществе полушарий располагается комплекс подкорковых нейронных узлов — базальные ядра (ганглии). К ним относятся *хвостатое ядро*, *чечевицеобразное ядро*, ограда и *миндалевидное ядро*.

Первые три из перечисленных ядер принадлежат полосатому телу. Они получают топографически упорядоченные проекции от всех полей коры и через таламус оказывают влияние на обширные фронтальные области. Таким образом, полосатое тело обеспечивает подготовку движений, а моторная кора — их точность и рациональность.

Миндалевидное ядро представляет собой несколько отдельно функционирующих ядер. Основными из них являются базально-латеральный комплекс (это большая группа ядер, имеющих отношение к формированию

памяти, интеграции вегетативных реакций при стрессе и др.) и корково-медиальные ядра, которые связаны с сексуальными запахами и половым поведением. Переднее миндалевидное ядро активирует реакции защиты, страха и агрессии. Тем самым, миндалевидное ядро оказывает влияние на вегетативные функции и эмоциональное поведение человека.

Именно конечный мозг осуществляют нерефлекторные психические процессы: формирование и запоминание ощущений, принятие решений, координацию, управление движениями, эмоции, приобретенные формы поведения, сознание и мышление у человека.

При этом следует подчеркнуть, что, обладай мозг сколько угодно сложной структурой, вряд ли бы он смог обеспечить выполнение требуемых информационно-управляющих функций, если бы образующие его клетки сами по себе не были бы способны передавать и хранить большой объём информации.

2.3. Нервная деятельность в режимах ответа и самодействия

Как уже отмечалось, нервная деятельность основана на способности клетки воспринимать и создавать электрическое поле. Таким электрическим полем является *трансмембранный потенциал* — разность потенциалов на внутренней и внешней стороне клеточной мембраны. Она обусловлена процессами перехода ионов натрия и калия через мембрану. В состоянии покоя внутренний потенциал отрицателен, тогда как в возбуждённом состоянии за счет значительного увеличения проницаемости мембраны для натрия он становится положительным, порядка 50 мВ. Причем изменение потенциала происходит не по всей поверхности мембраны, а на некотором её участке. В результате между соседними участками возникают токи, которые приводят к распространению возбуждения по поверхности мембраны, например, вдоль аксона или дендрита. Скорость этого распространения зависит от ряда факторов. У позвоночных увеличение скорости проведения импульса достигается благодаря *миелиновой оболочке* (именно она определяет цвет нервных волокон). Она является хорошим изолятором, но покрывает аксон не полностью и прерывается в так называемых *перехватах Ренье*. Именно в этих местах могут проходить ионные токи. В результате нервные импульсы как бы перескакивают от одного перехвата к следующему, так что скорость их распространения достигает 100 м/сек.

Передача сигнала от одного нейрона к другому происходит в узком промежутке (*синапсе*) между аксоном одного нейрона, свободном от миелиновой оболочки, и дендритом или телом другого. Механизм передачи

может быть электрическим, но, как правило, в синаптической передаче импульса участвует химический медиатор. При такой передаче под действием нервного импульса в кончике аксона высвобождается специфическое вещество, медиатор, которое присоединяется к соответствующим рецепторам в дендрите и вызывает изменение свойств его клеточной мембраны, что приводит к возникновению нового импульса. Указанный механизм переноса и передачи нервного импульса приводит к тому, что, во-первых, на деятельность нервной системы могут влиять биохимические факторы. А во-вторых, структурная единица этой системы — нейрон — имеет много входных и выходных синапсов, может находиться в разных статических и динамических состояниях, отличающихся друг от друга, например, распределением электрического потенциала на его мембране, и поэтому он способен содержать и передавать большой объём информации.

С общей точки зрения можно выделить два режима нервной деятельности. Это *режим ответа* на чувственное возбуждение (*стимул*) и *режим самодействия*.

Простейшим вариантом режима ответа является *рефлекс*, когда на стандартный чувственный стимул следует всегда одна и та же стандартная, хотя, возможно, сложно скоординированная реакция. Примером такого рефлекса служит сужение зрачка при увеличении яркости света. У позвоночных рефлекторные реакции проходят через центральную нервную систему: спинной мозг и нижние отделы головного мозга. В рефлекторной реакции участвуют как минимум два нейрона: сенсорный и моторный, которые образуют простейшую *рефлекторную дугу*. Однако комплексность даже самых простых рефлекторных реакций предполагает, что сенсорные и моторные нейроны связаны, как правило, через вставочные нейроны, образующие весьма сложные рефлекторные дуги и нейронные цепи. Более того, при рефлекторной реакции нервные сигналы могут направляться не только на моторные нейроны, но и в другие отделы нервной системы. Например, у позвоночных любое чувственное возбуждение оказывает неспецифичное (диффузное) воздействие на кору полушарий головного мозга. Это связано с функцией восходящей ретикулярной активирующей системы нервных клеток, проходящей через нижние отделы головного мозга к таламусу, имеющему диффузные связи с корой.

К рефлекторной реакции, по-видимому, относится и связь между центральной нервной системой и эндокринной системой. Гормоны воздействуют через *хеморецепторы* на специфические нервные центры головного мозга. У млекопитающих главным таким центром является гипоталамус. В свою очередь, центральная нервная система влияет на железы внутренней секреции через вегетативную нервную систему.

Характерной особенностью рефлекторной реакции является её безошибочная многократная повторяемость. Это указывает на то, что такие реакции определяются врождённой анатомией нервной системы. Поэтому,

например, приобретенные рефлексы не относятся к истинным рефлекторным реакциям — их надо закреплять, они замедляются, забываются и сопровождаются ошибками.

Качественно более сложным является *многовариантный режим ответа* на чувственный стимул, когда воздействие может быть различным. Поэтому тот или иной вариант такого воздействия необходимо сначала распознать. При этом реакция на него может быть неоднозначной, в зависимости от других внутренних и внешних факторов. Например, в некотором месте сетчатки глаза появляется образ объекта. Этот объект надо распознать и решить, как на него реагировать. Если это — пища, нужно скоординировать её положение в пространстве относительно тела субъекта и дать команду определенной группе мышц на соответствующее согласованное действие. Функционирование нервной системы в многовариантном режиме представляет собой *нерефлекторный психический процесс*, и в нем задействованы полушария головного мозга.

К режиму самодействия относятся процессы в самой нервной системе. Она постоянно находится в состоянии нервного возбуждения (о чем свидетельствует, например, электроэнцефалограмма головного мозга), и в ней осуществляется определенная нервная деятельность, хотя бы, по обеспечению жизнедеятельность организма. Эта нервная деятельность происходит как в режиме самодействия, так и в режиме ответа на внутренние чувственные стимулы. Но если такие чувственные стимулы выполняют лишь функцию обратной связи для поддержания или корректировки нервного процесса, то его тоже можно отнести к режиму самодействия. Это происходит, например, если процесс является управляющим и имеет выход на другие системы организма (двигательную, эндокринную и т. д.). Характеризуя мотивацию животного в таком режиме самодействия, говорят, что оно «хочет», а существование у животного режима «хотеть» трактуется как наличие «воли».

Примерами режима самодействия, ограниченного только нервной системой (хотя, возможно, и при участии эндокринной), являются запоминание (в частности, перевод информации из кратковременной в долговременную память) и сновидение, которое, впрочем, тоже может сопровождаться двигательной активностью (зрачков глаз и др.).

2.4. Механизм символического чувственного восприятия

В процессе эволюции нервная система животных формировалась как информационно-управляющая система, основанная на чувственном восприятии, задачей которой является распознание информации, достаточное для принятия решений по обеспечению существования живого организма.

Для этого довольно не полного, а рационально необходимого представления реальности. Контент этого представления определяется как возможностями нервной системы, так и стоящими перед ней задачами.

Заметим, что обычно используется термин «отражение реальности», но мы следуем терминологии математической теории структур, к которой апеллируем.

С одной стороны, ограниченность нервной системы того или иного вида организмов обусловлена тем, что она поэтапно развивалась в ходе эволюции, и это развитие нацелено на решение утилитарной задачи выживаемости, а поэтому в том или ином аспекте однобоко. Например, такое развитие нередко заводит в эволюционный тупик. С другой стороны, сама возможность эволюции предполагает превышение возможностей нервной системы организма над её текущими задачами. Поэтому нервная система отсеивает ненужную сенсорную информацию, не воспринимает её. Например, сетчатка глаза животного формирует фотографическое изображение реальности, но мозг не осознает все его детали. В силу ограниченности возможностей и утилитарности целей нервная система организма выделяет те или иные характерные детали представления реальности. В биологической литературе их называют знаками или символами. Например, особи многих видов животных индивидуализируют другую особь и отличают её от остальных только по её запаху, который становится символом этой особи.

Таким образом, чувственное восприятие реальности нервной системой организма является символическим. Его контентом служат сенсорные (чувственные) символы, формирование которых представляет собой своего рода *распознание* чувственных стимулов.

Формирование *сенсорного символа* происходит путем сопоставления новой сенсорной информации, составляющей внешний чувственный стимул, с той, которая востребована из мозга [*Иваницкий*]. Такое сопоставление происходит в результате кольцевого движения нервного возбуждения, которое после дополнительной обработки (корреляции) в других структурах мозга возвращается к местам первоначальных проекций. Считается, что сенсорные (афферентные) сигналы поступают от органов чувств в подкорковые ядра, затем в таламус, а оттуда — в сенсорную зону коры полушарий. Из сенсорной коры нервное возбуждение направляется в ассоциативную кору, где сведения сравниваются (посредством корреляции) с образцами и опознаются. Затем оно передаётся в *энторинальную кору*, имеющую отношение к памяти. Там определяется значимость нервного сигнала, его отношение к той или иной потребности организма. Потом импульсы нервного возбуждения перемещаются в *мотивационные центры* промежуточного мозга (таламус), откуда вновь возвращаются по системе диффузных проекций в кору полушарий, в том числе и в сенсорные зоны первичной проекции.

URSS

Возврат возбуждения по диффузным проекциям обеспечивает информационный синтез и формирование скоординированного нервного возбуждения — *ощущения*, которое является *предъявленным сенсорным символом* внешнего чувственного стимула.

Благодаря тому, что возникающее ощущение аккумулирует три вида информации: внешнюю сенсорную, хранящуюся в памяти и приходящую из центров мотивации о значимости полученной информации, внешний чувственный стимул соотносится с прошлым опытом субъекта и необходимостью удовлетворения тех или иных его потребностей. Мотивационная составляющая делает ощущение эмоционально окрашенным. Чтобы подчеркнуть субъективность ощущения, его формирование часто называют *чувственным восприятием* (в литературе эти термины употребляются и в других значениях, например, всякая нервная реакция, вызванная чувственным стимулом — это ощущение, а ощущение, как оно определено выше, — это восприятие).

Нервная деятельность в рамках символического чувственного восприятия реальности предполагает запоминание. Во-первых, само ощущение формируется при участии хранящейся в памяти информации. Во-вторых, поскольку ощущение не является прямой репликой порождающего чувственного стимула, однажды возникнув, оно может быть востребовано только, если сохранено в памяти.

В дальнейшем мы будем использовать термин «сенсорный символ» и называть его ощущением только, когда он сформирован и предъявлен вместо чувственного стимула.

Механизм памяти до сих пор не вполне ясен. *Память* могут иметь уже животные с узловой нервной системой (например, кольчатые черви). У человека выделяют два вида памяти: *кратковременную* и *долговременную*. Считается, что кратковременная память основана на электрофизиологических механизмах, поддерживающих возбуждение коррелирующих нейронных сетей. Долговременная память, по-видимому, фиксируется структурными изменениями в отдельных клетках, входящих в состав нейронных сетей, например, путем образования участков клеточной мембраны с разной ионной проницаемостью. Полагают, что долговременная память связана с ассоциативной корой. В адресации памятных следов в определенные участки коры важную роль играют медиальные отделы височной области полушарий, включающие энторинальную кору и *гиппокамп*. Они имеют обширные связи, как между собой, так и с сенсорными и ассоциативными отделами коры. При запоминании они направляют сигнал в ассоциативную кору для длительного удержания в памяти, а при необходимости вспомнить — указывают адрес, где хранится связанная с поступившим сигналом информация. При этом, гиппокамп, по-видимому, выполняет функцию кратковременной памяти и перевода информации из кратковременной в долговременную память, а также функцию простран-

ственной памяти. При поражении гиппокампа возникает *синдром Корсакова*, когда больной при сравнительной сохранности следов долговременной памяти утрачивает память на текущие события.

В результате запоминания хранителем сенсорного символа, по-видимому, становится какая-то нейронная сеть, находящаяся в статическом или динамическом предвозбуждённом или предрасположенном к возбуждению состоянии (например, нервные клетки возбуждены, но трансмембранные переходы заблокированы). Она активируется при поступлении специфичного или неспецифичного нервного сигнала как от внешнего стимула, так и в режиме самодействия. Однако востребованный из памяти и активированный сенсорный символ не предъявляется и не воспроизводит первоначальное ощущение, но может участвовать в формировании нового. Таким образом, ощущения возникают только в связи с чувственными стимулами, и их хронологическая корреляция полностью определяется чередованием этих стимулов.

Резюмируем основные свойства сенсорных символов (ощущений), которые представляют для нас особый интерес.

(а) Сенсорный символ образуется в результате синтеза чувственного стимула и информации, хранящейся в мозге. Это — своего рода распознанный чувственный стимул. Его предъявление (ощущение) происходит примерно на 150–200 мс позже чувственного стимула. Сенсорный символ субъективен, имеет мотивационную составляющую и эмоционально окрашен. С одной стороны, он обедняет в утилитарных целях вносимую чувственным стимулом информацию. С другой стороны, эта информация дополняется востребованной из памяти.

(б) Ощущения ассоциированы только с чувственными стимулами, и их последовательность не самостоятельна, а следует чередованию этих стимулов. Ощущения не воспроизводятся. Перефразируя известный афоризм Гераклита, «нельзя дважды испытать одно и то же ощущение». Однако, будучи сохраненным в памяти, сенсорный символ может быть *активирован* (стать объектом нервной деятельности) при поступлении специфического чувственного стимула и участвовать в формировании нового ощущения.

(в) Сохраненные в памяти сенсорные символы могу быть активированы как специфическими (чувственные стимулы), так и неспецифическими (в режиме самодействия) нервными сигналами.

При поступлении чувственного стимула режим ответа может начинаться ещё до формирования ощущения. Поэтому активация сенсорного символа из памяти как в режиме самодействия, так и в режиме ответа, в том числе для организации внешней (моторной и т. п.) реакции, вообще говоря, не предполагает его предъявления как какого-либо рода ощущения. Наряду с этим, у человека возможен процесс, когда нервное возбуждение при активации сенсорных символов в режиме самодействия направляется

в проекционные сенсорные зоны, где, как при ответе на чувственный стимул, предъявляется как подобие ощущения, которое называют *чувственным представлением* (или *представлением на основе восприятия*). В сравнении с ощущением, чувственное представление менее детально, символично и само по себе не сопровождается моторной реакцией. Не ясно, в какой мере чувственные представления возникают у животных.

Пример чувственных представлений — это *сновидения* (они есть и у некоторых животных, например, кошек) и галлюцинации. Сновидения могут сопровождаться самопроизвольной моторной реакцией (движением зрачков, подергиванием конечностей и т. п.), а галлюцинации — направленными действиями в режиме ответа. Чувственными представлениями может также сопровождается образное мышление.

(г) Нервная деятельность при чувственном восприятии предполагает запоминание *корреляции ощущений* как корреляции сенсорных символов (в частности, их хронологические корреляции, когда одно ощущения следует за другим). Пример такой корреляции сенсорных символов — *ассоциирование*, когда активация одного сенсорного символа сопровождается активацией другого. *Корреляционная память* (запоминание корреляций) наделяет систему сенсорных символов структурой, которая характеризуется как целостность восприятия. Такая целостная система представляет собой *чувственный образ* реальности, но для животного реальность не отделима от этого образа, то есть от него самого, она — часть его психики.

Заметим, что, конечно, это мы в рамках нашей науки знаем, что ощущение животного — это сенсорный символ реальности, потому что мы — не его часть, и что его ощущение нас — это образ того, что вне его. Однако, когда это касается собственных ощущений человека, он может лишь предположить существование реальности, представлением которой являются его ощущения (см. *4.2. Онтология бытия*).

Можно встретить разные определения психики. Мы в терминах математической теории структур будем исходить из следующего.

***Психика* — это структура, базовый контент которой составляют сенсорные символы**. Она включает уже упоминавшиеся операции: формирование, запоминание, активирование, предъявления, корреляции сенсорных символов.

Это определение является весьма общим, поскольку сенсорные символы присутствуют уже у животных с ганглиарной нервной системой. Психика является конституентом нервной деятельности, но не исчерпывает всю нервную деятельность организма. В частности, простейший рефлекс, ограниченный рефлекторной дугой, не порождает сенсорный символ и не представляет собой психический процесс. Однако, если рефлекс сопровождается нервными сигналами в другие отделы мозга, он может инициировать психические процессы, активировав какие-то сенсорные символы.

Поскольку сами сенсорные символы формируются в процессе нервной деятельности с участием других сенсорных символов и их дериватив, они относятся не только к объектам, но и элементам психики (как отношения отбора). И поэтому психику можно рассматривать как идеальную систему — абстрактную структуру, которая, будучи конституентом нервной деятельности, является дериватом нервной системы.

Следует подчеркнуть, что контент психики не ограничивается сенсорными символами и может включать их дериватив как элементов нервной деятельности (например, ощущения, чувственные представления) и, вообще, дериватив, которые только ссылаются на сенсорные символы. Термин «базовый контент» (см. *Глоссарий терминов*) подразумевает лишь то, что если нервная деятельность организма не формирует сенсорные символы, то у него нет психики. Например, о психике у животных с диффузной нервной системой ни в каком смысле не приходится говорить.

Отличие человека как разумного существа от других животных состоит в том, что базовый контент его психики не исчерпывается сенсорными символами, а включает также понятия (см. *3.6. Когнитивно-чувственное восприятие*). Если из психики человека исключены понятия, она перестает быть психикой человека как разумного существа, поскольку у него нет сознания. Известны несколько случаев реальных *«маугли»* — детей, проведших свои первые годы среди диких животных без общения с людьми. Они не обладали какими-либо элементами человеческого сознания, и, более того, все последующие попытки привить им что-то человечески разумное оставались безрезультатными.

URSS

Человек — вид Homo sapience sapience рода Homo трибы гоминини подсемейства гоминин семейства гоминид отряда приматов на третьей планете системы желтого карлика на краю ничем не примечательной спиральной галактики.

ГЛАВА 3

Антропоморфность человеческого сознания

Человеческое сознание, возникшее на некотором этапе эволюции у одного из видов многоклеточных белковых организмов как свойство их психики, заведомо не универсально. Его контент составляют понятия, но мы даже не знаем, являются ли понятия неотъемлемым атрибутом всякого сознания. Существующие в философии определения сознания (Декарт, Кант, Гегель, марксизм и т. д.) лишь тем или иным образом характеризуют его частную форму — человеческое сознание (см. *4.3. Онтология сознания*). Более того, эти частные характеристики переносятся и, вообще, на бытие идеальное, частностью которого является человеческое сознание (Гегель и др.).

К сожалению, человеческое сознание не с чем сравнивать. Хотя нет оснований заведомо отрицать существование других разумных цивилизаций во Вселенной, в силу установленных на сегодня физических законов вряд ли контакт с ними когда-нибудь будет возможен. Тем не менее, можно выявить основные частные (антропоморфные) черты присущей человеку формы сознания, исходя из его генезиса.

3.1. Генезис человеческого сознания

В результате нескольких мутаций, изменивших анатомию и физиологию одного или нескольких видов трибы гоминини подсемейства гоминин семейства гоминид отряда приматов, они приобрели возможность, во-первых,

URSS

усложнить свою деятельность и тем самым увеличить потребность в коммуникации, во-вторых, издавать для этого разнообразные комбинации звуков, в-третьих, что самое главное, их мозг оказался способен на новый тип психических операций.

Предки человека отделились от других гоминид около 7–6 млн лет назад. *Человек разумный* (*Homo sapience*, а точнее, *Homo sapience sapience*) является единственным ныне существующим видом из рода *Homo* (*Человек*), к которому отнесены ещё несколько вымерших видов. Все они считаются разумными формами жизни.

Определенные сомнения вызывает только древнейший из них — *Человек умелый* (*Homo habilis*) (2,5–2 млн лет назад), но у него уже сформировался силовой захват кистью руки, что позволило ему изготовлять простейшие орудия труда (грубо обработанные гальки), и его мозг содержал развитый *центр Брока*, ответственный у людей за моторную организацию речи. При поражении этого центра у человека возникает *афазия Брока*, характеризуемая невозможностью объединения отдельных речевых движений в единый речевой акт. *Человек умелый* не считается прямым предком человека, по некоторым классификациям его даже относят к высокоразвитым австралопитекам, но для простоты мы будем ссылаться на него в этом качестве, поскольку кто-то из его современников и его уровня (может быть, *Homo gautengensis,* или *Homo rudolfensis*, или *Homo ergaster*) предтечей человека, несомненно, был.

Следует отметить, что животные тоже могут использовать различные предметы в качестве орудий своей деятельности. Это относится и к *австралопитекам* (*Australopithecus*) (4–1 млн лет назад) — предшественникам (*Australopithecus afarensis*, *Australopithecus gahri*) и современникам (*Australopithecus africanus*, *Australopithecus sediba*) *Человека умелого*. Но *Человек умелый* стал их изготовлять. И именно совершенствование орудий деятельности считается критерием интеллектуального развития носителей той или иной археологической культуры.

Впрочем, австралопитеки (например, *Australopithecus gahri* и поздние австралопитеки *Australopithecus boisei* и *robustus*, которые просуществовали вплоть до 1 млн лет назад) тоже уже могли изготавливать простейшие орудия. Их мозг даже был больше, чем мозг *Человека умелого*, но по строению мало отличался от мозга современных *высших приматов* (горилла, шимпанзе, которые вместе с человеком составляют подсемейство *гоминины*).

Старейшим относительно надёжно установленным предшественником человека был *Человек прямоходящий — эректус* (*Homo erectus*), который существовал 1.8 млн – 300 тыс. лет назад, а некоторые изолированные популяции и 20 тыс. лет назад. Он был, несомненно, разумным существом.

Одно время предком человека считался *неандерталец* (*Homo neanderthalensis*) (140–25 тыс. лет назад). Его культура уже включала религиозные

культы, элементы искусства и даже медицину. Однако расхождение предков человека и неандертальцев произошло ещё около 500 тыс. лет назад, хотя потом эти два вида (или, как некоторые считают, подвида одного вида) вместе сосуществовали в Европе и на Ближнем Востоке 40–20 тыс. лет назад. Между ними происходили спаривания, и люди (кроме африканских народов) наследуют 1–4 % своего генетического материала от неандертальцев. Почти столь же близкий к *Человеку разумному*, как и неандерталец, был *денисовский человек*. Их ареалы пересекались в Азии, и некоторые азиатские народы, например, жители Тибета, наследуют до 2 % его генетического материала.

Сам вид *Homo sapience* оформился около 200–100 тыс. лет назад в Восточной Африке, что выразилось в целом ряде анатомических и физиологических изменений, в частности, опущении гортани и подъязычной кости. Возможно, его предшественником был *Человек Идалту* (*Homo sapiens Idaltu*), существовавший около 160 тыс. лет назад в Эфиопии.

Самой архаичной ветвью человечества, испытавшей наименьшее количество смешиваний, являются, по-видимому, бушмены и другие народы, говорящие на койсанских языках в Южной Африке и Танзании. Хотя имеются определенные генные различия между разными современными этносами (например, у всех людей, кроме африканцев, как уже отмечалось, присутствует генетический материал, унаследованный от неандертальцев), какой-либо разницы в их умственных способностях достоверно не установлено.

Современный человек остаётся таким же, как, по крайней мере, и 20 тыс. лет назад. Его сознание по интеллектуальному потенциалу ничем или почти ничем не отличается от сознания, например, *кроманьонца* и восходит по своему генезису к сознанию эректуса. Однако трудно судить, было ли у эректуса абстрактное мышление (см. *3.7. Мышление суждениями*).

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Во-первых, человеческое сознание обязано своим возникновением некому новому свойству психики, появившемуся ещё у *Человека умелого*, которое потом лишь совершенствовалось в процессе эволюции.

Во-вторых, человеческое сознание по своему генезису исходит из понятий, базирующихся на ощущениях (сенсорных символах), и может ограничиваться только такими понятиями.

В-третьих, на всех этапах эволюции от *Человека умелого* до *Человека разумного* развитие сознания сопутствовало росту потребностей коммуникации между людьми в целях передачи информации и взаимодействия, причем, доминирующим способом коммуникации изначально стал обмен звуковыми сигналами.

Все эти факторы вполне характеризуют специфику человеческого сознания.

3.2. Сенсо-понятия как базовый контент человеческого сознания

У животных распознание чувственного стимула и формирование ощущения происходит посредством его сопоставления (корреляции) с хранящимися в памяти сенсорными символами. Как уже отмечалось, механизм такого сопоставления до сих пор не известен, вероятно, оно происходит в некоем режиме совпадения. Например, животные идентифицируют друг друга, пищу и пр. не визуально, что сложно для них в таком режиме, а по запаху.

Отличие человека как разумного существа от животных состоит в том, что его мозг, по-видимому, оказался способен распознавать чувственные стимулы другим методом.

Как уже отмечалось, сенсорные символы коррелируют, и мозг запоминает эти корреляции. Например, он запоминает хронологические корреляционные цепочки, какое ощущение за каким следует, а значит, и вообще корреляционные цепочки. Поступивший чувственный стимул не является цельным, а распадается на множество конституентов, например, на нервные возбуждения от фоторецепторных клеток сетчатки глаза. Его сенсорный символ является результатом корреляции этих составных частей и множества нервных импульсов из разных мозговых центров, в результате чего синтезируется цельный, хотя и весьма условный, чувственный образ реальности. Это непростой процесс. Например, как показали исследования, дети только к 9 годам в состоянии объединять разрозненные детали зрительного ощущения в целостную картину.

Представляется, что человеческий мозг способен создавать своего рода *корреляционную схему* сенсорного символа и сравнивать сенсорные символы, сопоставляя их корреляционные схемы. Например, человек видит окружность и объединяет одинаковой яркости точки в замкнутую корреляционную цепочку — это и есть корреляционная схема возникшего чувственного образа. Такую же корреляционную схему будет иметь сенсорный символ любой замкнутой линии. Сопоставляя эти корреляционные схемы, он распознают замкнутую линию, как схожую с окружностью.

Приведем реальный, хорошо знакомый многим, пример. Принимая по Интернету запрос и посылая ответ, пользователь порой обязан распознать набор букв и цифр на картинке, изображенных разным стилем, пересекающихся и наезжающих друг на друга. Этот набор — корреляционная схема предъявленного изображения. Человек её легко распознает, а вот компьютер, сопоставляющий изображения по совпадению, не в состоянии этого сделать.

Корреляционная схема сенсорного символа является его дериватом как элемента психики, и тем самым сама представляет собой конституент

психики. Как и сам сенсорный символ, его корреляционная схема формируется с учетом мотивированности, значимости и других субъективных и текущих обстоятельств. Она может меняться, не быть единственной. При сопоставлении сенсорных символов, их корреляционные схемы тоже могут сравниваться и, в частности, совпадать или частично совпадать, хотя сами сенсорные символы не совпадают. Будем такие сенсорные символы называть *схожими* в некотором отношении, которое в терминах математической теории структур является *отношением отбора* (см. *9.1. Отношения*).

Корреляционная схема сенсорного символа, по-видимому, может формироваться и у животных. Было замечено, что высшие приматы, решая ту или иную поставленную перед ними задачу, сначала действуют методом проб, а потом, иногда, как бы уясняют суть задачи и продолжают её решать значительно быстрее. Поэтому формирование корреляционной схемы сенсорного символа и сопоставление сенсорных символов по их корреляционным схемам ещё не является мышлением. Однако у человека, в отличие от животных, корреляционная схема может быть диссоциирована от своего сенсорного символа.

У животных сенсорному символу чувственного стимула в целях обмена информацией может быть соотнесен другой сенсорный символ — его *знак*, например, *вербальный*, то есть сенсорный символ определённого набора звуков (*звукового кода*). Сенсорный символ, имеющий знак (назовем его *значением знака*) активируется при активации его знака, например, при поступлении специфичного для знака чувственного стимула (*сигнала*), и наоборот.

Известно, что животные обмениваются звуковыми и визуальными сигналами, но, в отличие от человека, они не объединяют их в комбинации, упорядоченные *значениями этих сигналов,* (то есть значениями знаков, чувственными стимулами которых эти сигналы являются), поскольку корреляции сенсорных символов не автономны, а обусловлены корреляциями сенсорных стимулов (см. *3.7. Мышление суждениями*).

В дальнейшем, для определенности будем говорить именно о вербальных знаках сенсорных стимулов.

Поскольку число звуковых комбинаций весьма ограничено, невозможно каждому сенсорному символу соотнести свой вербальный знак. У человека, при увеличенной потребности коммуникации, такой знак присваивается сенсорным символам, схожим в некотором отношении, предположим, имеющим совпадающую или почти совпадающую корреляционную схему. При активации этого знака сенсорные символы из его значения распознаются и активируются именно по своей специфической корреляционной схеме. Это может означать, что в связи с вербальным знаком формируется корреляционная схема, но не самого знака, а своего рода реплика корреляционной схемы этих сенсорных символов. Назовем её *типичной корреляционной схемой*. Эта типичная корреляционная схема, привязанная

к вербальному знаку, активируется вместе с ним независимо от сенсорных символов и, таким образом, *диссоциирована* от них.

> **Типичная корреляционная схема схожих сенсорных символов, диссоциированная от них и привязанная к их знаку, становится понятием (сенсо-понятием).**

Принято считать, что формирование такого понятия происходит в процессе своего рода абстрагирования, когда выявляются как бы признаки схожести, по которым отбираются сенсорные символы. Поэтому эти понятия часто называют *чувственными абстракциями*. Ради удобства терминологии мы будем именовать их *сенсо-понятиями*.

Например, когда ребенок начинает считать разные предметы: «один палец, два пальца, одна ложка, две ложки», у него «один», «два» — это сенсо-понятия, которые потом станут теоретическими понятиями. Животные не умеют считать, хотя у них может быть выработан отдельный сенсорный символ, например, двух конкретных предметов, и они даже, возможно, могут сопоставить его с отдельным сенсорным символом двух других конкретных предметов или каким-то конкретным сенсорным символом, скажем, словом «два», произносимым дрессировщиком, но это всегда будут определенные конкретные предметы. Ребенок же сможет сосчитать все, что ему ни предложат.

Мы иногда будем ссылаться на пример детского сознания. Это, конечно, сознание, хотя до определенного возраста и не во всем полноценное человеческое сознание [*Пиаже*]. Ребенок заведомо обладает сознанием, когда уже говорит фразы (что происходит на втором году жизни), или, как в приведенном выше примере, считает.

Трактуемое в терминах математической теории структур, сенсо-понятие представляет собой структуру на множестве сенсорных символах, определяемую парой связанных отношений. Одно из них — это бинарное отношение схожести (см. *9.1. Отношения*) между сенсорными символами, задаваемое их схожими корреляционными схемами. Будем это отношение схожести характеризовать как *смысл сенсо-понятия*. Его класс эквивалентности определяет одинарное отношение отбора схожих сенсорных символов, которое составляет *чувственное значение сенсо-понятия*.

Таким образом, сенсо-понятие характеризуется тремя факторами: смыслом, чувственным значением и знаком.

Определяющим сенсо-понятие фактором является его смысл — отношение схожести сенсорных символов, характеризуемых корреляционными схемами, совпадающими с типичной корреляционной схемой. Если по тем или иным причинам (например, при обмене информацией) типичная корреляционная схема трансформируется (в частности, детализируется), то меняется и сенсо-понятие. *Активация сенсо-понятия* — это активация его

типичной корреляционной схемы как объекта психики. Она, например, может быть инициирована активацией сенсорного символа, входящего в его значение. Со своей стороны, активация сенсо-понятия, вообще говоря, предполагает консолидированную активацию всех или почти всех входящих в его чувственное значение сенсорных символов, но не обязательно.

Чувственное значение сенсо-понятия, то есть семейство схожих сенсорных символов, может варьироваться. Оно определяется областью отношения схожести, но в реальности формируется *a posteriori*, и поэтому оно не вполне определено. При этом, не исключено, что один и тот же сенсорный символ входит в значения разных сенсо-понятий, отличающиеся друг от друга смыслом. Нередко при мышлении сенсо-понятие подменяется *чувственным представителем* — каким-нибудь сенсорным символом из его чувственного значения, корреляционная схема которого тогда играет роль типичной корреляционной схемы. В таком случае говорят об *образном мышлении.* Оно характерно, например, для детей, но порой весьма эффективно и при решении математических проблем. При этом, чувственный представитель сенсо-понятия, будучи активированным, может быть даже предъявлен своим чувственным представлением (ощущением). Например, размышляя о геометрии многообразий, математик часто наглядно представляет себе некоторую поверхность как чувственный пример теоретического понятия многообразия. В то же время, при мышлении суждениями, сенсо-понятие всегда предъявляется своим знаком (см. *3.7. Мышление суждениями*).

Знак сенсо-понятия во многом обусловлен задачей коммуникации. У понятий с одинаковыми смыслом и чувственным значением могут быть разные знаки, например, слова на разных языках. Однако образование сенсо-понятия без знака невозможно, поскольку типичная корреляционная схема как объект психики, по-видимому, может существовать только в связи с некоторым сенсорным символом. Поэтому активация сенсо-понятия неизбежно сопровождается активацией его знака, что, в частности, находит свое выражение в так называемой вербализации человеческого сознания (см. *3.5. Вербализация человеческого сознания*).

Как уже отмечалось, активированный знак сенсо-понятия может быть предъявлен. Например, если знак — вербальный, то такой знак (его звуковой код — сигнал) можно произнести, услышать, а также предъявить в режиме самодействия — чувственного представления.

Обратно, активация сенсо-понятия может быть инициирована активацией его знака или при поступлении специфичного для этого знака чувственного стимула (сигнала), или в режиме самодействия. Такой механизм активации, например, характерен для уже упоминавшегося мышления суждениями.

Будучи по двум первым факторам (смыслу и чувственному значению) структурой на сенсорных символах, задаваемой отношениями схожести

и отбора, **сенсо-понятие представляет собой элемент психики**. При этом, сенсо-понятие не является деривативом составляющих его чувственное значение сенсорных символов. Его типичная корреляционная схема, привязанная к вербальному знаку, активируется вместе с ним, вообще говоря, независимо от сенсорных символов. Поэтому корреляции сенсо-понятий могут быть самостоятельными, не обусловленными корреляциями сенсорных символов. Более того, чувственное значение сенсо-понятия может быть замещено его абстрактным значением (см. *3.3. Абстрактные понятия как структуры*). Таким образом, **сенсо-понятие *диссоциированы* от сенсорных символов**, хотя те и составляют его чувственное значение. Поэтому по третьему из упомянутых выше факторов (знаку) сенсо-понятия составляют особый, отличный от сенсорных символов, контент психики, на котором формируется специфическая структура — сознание.

Как уже отмечалось, образование корреляционной схемы сенсорного символа и сопоставление сенсорных символов между собой по совпадению их корреляционных схем, по-видимому, возможно уже у высших приматов. Однако из-за неразвитости их мозга, образование сенсо-понятий им недоступно, поскольку предполагает ранее упомянутое «абстрагирование» — формирование типичной корреляционной схемы, диссоциированной от сенсорных символов. А это — задача другого уровня, поскольку активация сенсо-понятия, вообще говоря, предусматривает консолидированную активацию входящих в его чувственное значение сенсорных символов, что задействует, в частности, ассоциативные зоны коры головного мозга. Именно у *Человека умелого*, в сравнении, например, с австралопитеками тоже из трибы гоминини, произошло перераспределение долей мозга в пользу увеличения более прогрессивных — лобной, теменной, височной — долей с ассоциативными зонами.

Сенсо-понятия не исчерпывают весь контент человеческого сознания. «Лес», «небо», «идти» — пример сенсо-понятий, а вот «Вселенная» не является таковым. Однако нет и примеров человеческого сознания, свободного от сенсо-понятий. С другой стороны, сознание *Человека умелого* и эректуса, по-видимому, содержало только сенсо-понятия, что можно сказать и о сознании ребенка до определенного возраста.

Таким образом, в терминах математической теории структур специфику человеческого сознания позволительно охарактеризовать как **структуру, базовый контент которой составляют сенсо-понятия.**

3.3. Абстрактные понятия как структуры

На сенсо-понятиях, трактуемых как структуры, определено отношение частности структур (см. *9.2. Структуры*). Оно сводится к тому, что сенсо-понятие B является *частностью* сенсо-понятия A, если чувствен-

ное значение B (класс эквивалентности его отношения схожести и область отношения отбора) принадлежит чувственному значению A.

Отношение частности как отношение частичного порядка задаёт на множестве сенсо-понятий структуру частностей, элементами которой являются отношения отбора R_A, каждое из которых определяется для того или иного сенсо-понятия A и содержит все сенсо-понятия — частности A (см. *9.2. Структуры*), и которое можно трактовать как *абстрактное значение* сенсо-понятия A.

Чтобы такая характеристика была точной, предположим условно, что есть некоторое множество K сенсорных символов и что всякое подмножество этого множества составляет чувственного значение какого-то сенсо-понятия, то есть любое сенсо-понятие представимо элементом множества 2^K подмножеств множества K, и обратно. Пусть A — сенсо-понятие, чувственное значение которого представляет собой подмножество $A \subset K$ множества K. Сенсо-понятие B является частностью A, если $B \subset A$. Таким образом, частности A образуют подмножество $2^A \subset 2^K$, которое, в свою очередь, однозначно определяет $A \subset K$.

Подчеркнем, что, в отличие от чувственного значения сенсо-понятия, абстрактное значение характеризуют сенсо-понятие как структуру на множестве сенсо-понятий.

Обобщая эту конструкцию, возьмем множество всех сенсо-понятий, то есть множество 2^K подмножеств множества K сенсорных символов. Рассмотрим подмножество $Q \subset 2^K$, которое вместе с некоторым сенсо-понятием A включает и все его частности, то есть, если $A \in Q$, то и $2^A \subset Q$. Тогда его можно интерпретировать как значение некоторого понятия. В общем случае, это не сенсо-понятие, поскольку Q не обязательно является булеаном 2^A некоторого подмножества $A \subset K$.

Например, чувственный представитель $a \in A$ сенсо-понятия A, абстрактное значение которого сводится к самому этому понятию $2^a = \{[\{a\}]\}$ (см. *6. Эмпиричность теории множеств*), трактуется как своего рода *предпонятие* [*Пиаже*].

Идя далее, можно в терминах математической теории структур дать следующее общее определение понятия.

Понятия образуют множество, содержащее в себе множество сенсо-понятий, на котором определено отношение частичного порядка, являющееся на сенсо-понятиях отношением их частности**.**

Назовем это отношение частичного порядка тоже отношением *частности*. Обозначим его R. Тогда, по аналогии с сенсо-понятиями, всякому понятию A можно сопоставить его з*начение* — отношение отбора R_A на множестве понятий, включающее понятия, являющиеся частностями понятия A. В случае сенсо-понятия это — его абстрактное значение.

URSS

Таким образом, в терминах математической теории структур понятие — это структура на множестве самих понятий, определяемая отношением отбора — своим значением. **Следовательно, понятия представляют собой элементы абстрактной структуры частностей, объектами которой являются сами понятия**.

Следует подчеркнуть, что, хотя в математической теории структур отношение однозначно характеризуется своей областью (см. *9.1. Отношения*), значение понятия как элемента сознания (см. ниже) не всегда вполне определено. Будем называть такое понятие *представлением*. Так, уже упоминавшаяся «Вселенная» — это представление.

Как ранее отмечалось, примером понятия служит сенсо-понятие, наделённое абстрактным значением, которое состоит из сенсо-понятий. Однако **понятие, значение которого включает только сенсо-понятие, как было подчеркнуто, само не обязательно является сенсо-понятием**. Идя далее, будем называть понятие *абстрактным*, если его значение включает не только сенсо-понятия, и *теоретическим,* если его значение не содержит сенсо-понятий. Причем, абстрактное понятие может иметь своей частностью теоретическое понятие, но не обязательно. Тогда как **теоретическое понятие содержит в своём значении только теоретические понятия.** Вместе с тем, оно, так или иначе, является деривативом сенсо-понятий, ссылается на них, поскольку сенсо-понятия составляют базовый контент сознания. Теоретическое понятие может возникать как деривати, элемент структуры на некотором носителе. При этом, если сенсо-понятие диссоциировано от сенсорных символов, то теоретическое понятие *отчуждено* от них, поскольку его значение не содержит сенсо-понятий, и активация сенсорных символов, если это не знак понятия, не вызывает активацию теоретического понятия. В этом смысле, теоретическое понятие отчуждено и от сенсо-понятий, поскольку они не входят в его значение.

Например, понятие алгебраического произведения можно считать теоретическим, а вот понятие сложения у детей первоначально апеллирует к чувственному опыту.

Понятие «два пальца» у ребенка является сенсо-понятием, когда, чтобы сложить два и два, он пересчитывает свои пальцы. Понятие «два» в отношении к разным, но конкретным предметам: «два пальца», «две руки» и т. д., имеет своими частностями сенсо-понятия, но само уже перестает быть таковым. Понятие «два предмета», частностями которого являются, как сенсо-понятия «два пальца», «две руки» и т. д., так и два неких явно не представленных предмета, является абстрактным. А понятие числа «два» как элемент алгебры целых чисел — это теоретическое понятие, которое является деривативом сенсо-понятий «два пальца», «две руки» и т. д., но не имеет их своими частностями, поскольку не подразумевает «два чего-то». И оно в истории человеческой цивилизации сформировалось относительно недавно, когда возникла математика как наука. Даже в древнегрече-

ской математике это было, пожалуй, лишь абстрактное понятие — «два чего-то».

Определив понятия, можно характеризовать *человеческое сознание* как структуру, контент которой они составляют. Поскольку понятия, как уже отмечалось, сами представляют собой элементы структуры на самих себе**, человеческое сознание — это идеальная система (абстрактная структура)**.

Естественно возникает вопрос, составляют ли понятия контент всякого сознания. В случае человеческого сознания они возникли на базе сенсо-понятий, имея последние своими частностями или будучи их деривативами. Отношение частности именно для сенсо-понятий является содержательным — в терминах сенсорных символов, тогда как на понятиях оно было введено формально. Вместе с тем, реальность и сознание вообще, как они понимаются в рамках онтологии бытия и сознания, тоже наделяются отношениями и структурой частностей (см. *4. Философия сознания*).

Обращаясь же к примеру разумного Океана в «Солярис», можно представить, что базовый контент его сознания тоже образуют понятия, аналогичные сенсо-понятиям в человеческом сознании, но значения которых составляют не сенсорные символы, а, как это описано в романе, реальные конструкции, формируемые Океаном в самом себе. Отношением схожести таких конструкций может выступать условие их гомотопической эквивалентности, когда конструкции непрерывно деформируются друг в друга. Соответственно, знаками понятий, значения которых составляют эти конструкции, становятся тополого-алгебраические характеристики последних.

3.4. Ассоциативность понятий

Будем называть понятие *ассоциативным*, если в действительности оно не вполне определено. Ясно, что такое ассоциативное понятие имеет нечетко заданное значение, то есть является представлением.

Человеческое сознание *ассоциативно*, поскольку его базовый контент составляют сенсо-понятия, которые ассоциативны.

Сенсо-понятия ассоциативны, ибо они формируются *a posteriori* по отношению схожести сенсорных символов (своего рода по аналогии), а даже одинаковые чувственные стимулы неизбежно порождают несовпадающие сенсорные символы, что размывает смысл сенсо-понятий, делает его как отношение схожести не вполне определенным.

Смысл сенсо-понятия также размывается, когда оно становится объектом общественного сознания (см. *3.8. Общественное сознание*). Сенсорные символы у каждого человека свои в силу уникальности его чувственного опыта, тогда как передача информации предполагает, что её адресат способен эту информацию распознать. Поэтому при коммуникации сенсо-

понятие корректируется, чтобы иметь возможность апеллировать к разному чувственному опыту, оно, вообще говоря, перестает быть сенсо-понятием и становится ассоциативным. С другой стороны, чувственный опыт каждого человека, хотя и индивидуален, но является представлением внешнего мира. Поэтому в его психике находится база для сопоставимых с другими людьми сенсо-понятий.

Будучи ассоциативными, сенсо-понятия, входящие в значение того или иного абстрактного понятия, тоже придают ему ассоциативность. Даже теоретические понятия, будучи деривативами сенсо-понятий, нередко предполагают определенную ассоциативность. Например, упоминавшееся выше теоретическое понятие алгебраического произведения обращается к понятию «отображение», которое весьма ассоциативно. Примечательно, что известный коллектив математиков Бурбаки, планируя свой курс математики, намеревался изначально формализовать математический язык, полностью исключив обращение к эмпирическим ассоциациям [*Бурбаки, 1965*]. Это не удалось, поскольку многие базовые понятия математики, такие как множество, элемент, отображение и др. ассоциативны (см. *6. Антропоморфная математика*).

Следует, однако, подчеркнуть, что ассоциативность человеческого сознания является не только его недостатком, но и преимуществом, в том числе в сравнении с компьютерами.

> **Наличие в человеческом сознании изначально ассоциативных понятий обуславливает способность человека оперировать в процессе мышления не вполне определенными объектами.**

3.5. Вербализация человеческого сознания

Человеческое сознание развивалось, только будучи стимулированным потребностями коммуникации между людьми. Поэтому, вслед за сенсо-понятиями, **всякое понятие, по крайней мере, входящее в контент общественного сознания, имеет *знак*** — ассоциированный с ним сенсорный символ.

До появления рисунка и письменности коммуникация между людьми осуществлялась главным образом посредством звуковых сигналов. Возникнув как предметное и пиктографическое, письмо могло претендовать на то, чтобы стать новым способом коммуникации (идеография), но не выдержало конкуренции с речью, использовавшейся в обыденной жизни, а согласовывалось с ней плохо. Поэтому развитие письменности пошло по пути лишь визуального кодирования речи вплоть до звуков — иероглифическое (фоноидеографическое: логографическое, морфемное) письмо, слоговое и алфавитное письмо.

URSS

Ещё один способ коммуникации — жестовые языки, которые не копируют звуковые, но играют более, чем второстепенную роль.

Поэтому едва ли ни все понятия человеческого сознания имеют вербальный знак. **Это называется *вербализацией человеческого сознания***.

Например, сенсо-понятия, по самому своему происхождению, имеют знак, и он — вербальный. За исключением немногих общеупотребительных жестов и пиктограмм, все понятия, включая теоретические, ставшие объектом общественного сознания, или обладают вербальным знаком, или является деривативом понятий с таким знаком.

Как и сенсо-понятия, понятие активируется (становится объектом мышления) при активации своего знака или при поступлении специфического для него сенсорного стимула (сигнала), или в режиме самодействия.

Обратно, активация понятия, по-видимому, неизбежно сопровождается активацией его знака. Это, в частности, подтверждается тем наблюдением, что при мыслительном процессе, совсем не предполагающем вербального ответа, даже при образном мышлении (распознании эмоций), фокусы возбуждения возникают в левой височной области, где расположен центр восприятия речи (*центр Верникe*). При его поражении возникает *афазия Верникe*, когда человек всё слышит, но значения слов не понимает, он не может выделять и различать речевые звуки.

При этом, активированный знак понятия может быть предъявлен (чувственно представлен). Даже когда человек думает, он часто как бы проговаривает «про себя» свою мысль, а некоторые люди при этом непроизвольно (беззвучно) шевелят губами.

Следует заметить, что один и тот же знак, как правило, соответствует нескольким понятиям, как близким по значению и отличающимся, например, лишь уровнем осмысления, так и совершенно разным, но которые, таким образом, в сознании человека оказываются связанными, поскольку активируются совместно с их общим знаком. Например, «лес» — как сенсо-понятие индивидуального сознания, как абстрактное понятие в общественном сознании (см. ниже) некоего локального социума, представляющее конкретный лес («давай, сходим в лес»), как теоретическое понятие в общественном сознании, характеризующее явление живой природы, и как «много» («целый лес проблем»).

Очевидно, обмен содержательной информацией не может ограничиться изданием отдельных звуковых сигналов, даже представляющих понятия, и поэтому сигналы объединяются в комбинации, упорядоченные смыслом понятий, знаками которых эти сигналы являются. Такие упорядоченные по смыслу комбинации называются *речевыми сообщениями*.

Как уже отмечалось, животные могут издавать звуковые сигналы в целях коммуникации, но, в отличие от человека, они не могут объединять их в речевые сообщения.

Передача сообщений предполагает, что адресат их поймет. Поэтому они организуются по тем или иным правилам. Форма коммуникации посредством таких сообщений называется *речью*. Сигналы, составляющие речевые сообщения, становятся *словами*, образующими вербальную знаковую систему — *язык*. Речевое сообщение считается *полным*, если оно имеет смысл и интонационно закончено. Речевое сообщение называется *простым*, если оно не содержит в себе более короткое полное сообщение. Простое полное речевое сообщение именуется *речевым предложением*.

Язык как знаковая система, соотносящая понятийное значение и его звуковое выражение, имеет свои законы (семиотика, глоссематика — направления структурной лингвистики). Поэтому язык, его особенности не только отражают, но и формируют стиль мышления (см. *3.7. Мышление суждениями*).

Роль языка в мышлении многократно подчеркивалась и всесторонне рассматривалась [*Гринев-Гриневич*]. Можно привести множество различий между сознаниями людей разных социумов (антропологическая лингвистика). Например, у самых древних египтян не было (теоретического) понятия «круглый» и не было (абстрактного) понятия «круглый предмет». Поэтому они не говорили, что Луна — круглая, или что Луна — как лепешка, а говорили, что Луна — это лепешка. У древних греков не было понятия цвета. В русском языке вплоть до XIX-го века отсутствовала лексика, выражающая любовные чувства, только самые грубые физиологические, и поэтому в «высшем свете» изъяснялись по-французски. И т. д., и т. п. …

Наконец, наличие знаков понятий и замена вербальных знаков визуальными (письменность) позволяют *кодировать* вне сознания те или иные конституенты человеческого сознания упорядоченными наборами таких знаков, но их *декодирование* может происходить только в человеческом сознании.

3.6. Когнитивно-чувственное восприятие

При наличии сознания меняется также само чувственное восприятие. Под воздействием чувственного стимула и при формировании соответствующего ощущения активируется не только тот или иной находящийся в памяти сенсорный символ, но и сенсо-понятия, в значения которых он входит, и с ними даже абстрактные понятия. Это сказывается на оценке значимости стимула и через мотивационные центры на формировании его сенсорного символа. В результате, возникающее ощущение не только как бы приобретает смысл, но и само становится другим.

Например, когда человек видит слона, он воспринимает не только его чувственный стимул, но распознает его как «слон», мотивируя при этом, если актуально, свое ощущение дополнительным знанием о слонах, в частности, детализируя его.

То, что в присутствии сознания формирующееся ощущение приобретает смысл — активирует те или иные понятия, распознается ими, встраивается в их значение — делает чувственное восприятие когнитивным. Также и при коммуникации, поступивший чувственный стимул знака некоего понятия непосредственно вызывает в сознании реципиента это понятие, но при этом активируются соответствующие этому сигналу сенсорные символы, позволяющие его распознать, а также, возможно, чувственные представители или чувственные примеры понятия.

Будем называть такое восприятие *когнитивно-чувственным*. Его продуктом является *когнитивно-чувственный образ* реальности — структура, объекты которой составляют как сенсорные символы, так и понятия. Тем самым, при когнитивно-чувственном восприятии расширяется контент человеческой психики, в который входят не только сенсорные символы (ощущения), но и понятия. При этом, сенсорные символы скорее выступают как чувственные представители тех или иных сенсо-понятий, и поэтому можно говорить о *проекции когнитивно-чувственного образа в сознание*.

Когнитивно-чувственное восприятие, в сравнении с чувственным, предоставляет большую возможность распознания информации для принятия решений по обеспечению жизнедеятельности организма. С другой стороны, ассоциируя с ощущениями понятия, человек расширил свою коммуникативность путем обмена понятиями. Более того, посредством такой коммуникации, он обогатил свое индивидуальное когнитивно-чувственное восприятие образами восприятия других людей, в том числе, представленных в общественном сознании (см. *3.8. Общественное сознание*).

> **Поэтому, возникнув у человека (*Homo*) как свойство его психики, сознание стало эволюционным фактором.**

Фактически же, при наличии общественного сознания, контент которого образуют абстрактные понятия, когнитивно-чувственное восприятие современного человека оказывается *абстрактно-чувственным*.

3.7. Мышление суждениями

На сенсо-понятия как объекты психики, а тем самым и, вообще, понятия переносятся те или иные психические операции, но, в отличие от сенсорных символов, корреляции понятий могут быть самостоятельными, не обусловленными корреляциями чувственных стимулов.

Восходя по своему генезису к сенсо-понятиям и сенсорным символам, понятия наследуют те или иные психические операции над ними: активирование, запоминание, корреляции и др. Так, активирование понятия

URSS

может инициироваться активированием некоторого понятия из его значения и, в свою очередь, способно вызывать активирование того или иного понятий из его значения, хотя и не консолидированное. Примером служит активирование сенсо-понятий, характеризуемых своими абстрактными значениями.

Корреляции, в том числе формирование, понятий как объектов сознания составляют процесс *мышления*. Таким образом, в терминах математической теории структур мышление — это алгебраическая структура (см. *9.2. Структуры*), частность сознания. При этом, будучи алгебраической структурой, мышление является абстрактной структурой на своих элементах (см. *9.3.5. Абстрактные структуры*).

Гипотетический пример «нечеловеческого» мышления — это вышеупомянутый разумный Океан в «Солярис», контент сознания которого тоже составляют понятия, хотя и другой, нежели в человеческом сознании, природы.

Мы не будем здесь углубляться в анализ человеческого мышления (см. *6.2. Многовариантность и неполнота логики*), а лишь отметим некоторые его важные для дальнейшего рассмотрения особенности.

Хотя сенсо-понятия диссоциированы от ощущений, но по своему происхождению они предназначены для передачи чувственного опыта. Они входят в значения абстрактных, за исключением теоретических, понятий, которые тем самым тоже так или иначе привязаны к чувственному опыту. **Поэтому процесс человеческого мышления также восходит к психическим операциям с сенсорными символами, выработанными в процессе эволюции, однако не исчерпывается ими**.

В частности, уже упоминалось образное мышление, когда сенсо-понятия подменяются чувственными представителями — сенсорными символами из их чувственного значения. Между такими сенсорными символами могут возникать дополнительные корреляции, обусловленные чувственным опытом, которые переносятся на сенсо-понятия, представляемые этими сенсорными символами. Образное мышление может распространяться и на абстрактные понятия, и даже теоретические понятия, когда абстрактное понятие имеет своей частностью сенсо-понятие, чувственный представитель которого выступает в качестве своего рода *чувственного примера* этого абстрактного понятия, а также, возможно, той или иной его теоретической частности.

Например, сенсо-понятие «мяч» является частностью абстрактного понятия «мяч», значение которого («мяч — это шар») содержит теоретическое понятие «шар», и поэтому сенсорный символ мяча может послужить чувственным примером теоретического понятия «шар».

В то же время, вследствие вербализации человеческого сознания, когда формой коммуникации между людьми является речь, организация речи и процесс мышления с необходимостью должны быть согласованы. А именно,

знаменательным словам речевого сообщения подлежат определенные понятия, которые образуют комбинацию, упорядоченную смыслом этих понятий. Такие комбинации невозможны на сенсорных символах. Они специфичны для мышления. Назовём их *суждениями*.

Заметим, что в русскоязычной математической литературе термин «суждение» используется наравне с термином «высказывание» в математической логике, хотя более адекватный по смыслу, перевод английской терминологии «proposition» или «statement» — это «утверждение» (см. *6.2. Многовариантность и неполнота логики*).

Мышление, когда корреляция понятий принимает форму суждений, называется *мышлением суждениями.*. Поскольку суждения подлежат речевым сообщениям, такое мышление напрямую взаимозависимо с языком, который как знаковая система имеет свои законы и традицию развития. Поэтому оно **не универсально для всего человечества**, уникально для каждого языкового социума и, таким образом, правомерно говорить об особом, в той или иной мере, менталитете такого социума.

Мышление суждениями ещё именуют *языковым мышлением*, и в более широком плане можно говорить о *знаковом мышлении*, если не ограничиваться вербальными знаками и рассматривать комбинации любых знаков понятий, структурированные смыслом этих понятий. Примерами такого неязыкового знакового мышления являются формальные языки, графики, таблицы, диаграммы и т. п. Однако, в рамках общественного сознания, мышление суждениями является доминирующей формой мышления (см. *3.8. Общественное сознание*).

В этой связи, следует заметить, что, поскольку человек способен воспринимать ухом и издавать голосом только хронологическую корреляцию звуковых сигналов (следующих один за другим), его языковое мышление тоже ограничено лишь линейно упорядоченными корреляциями (причинно-следственными цепочками) понятий. Однако, если бы изначально коммуникация между людьми осуществлялась посредством изображений, человеческое мышление, вероятно, включало бы двумерные и даже трехмерные корреляции понятий, в том числе, например, процессы с одновременной многоканальной обратной связью. Сейчас технические возможности такой формы обмена информацией появились.

> **Таким образом, мышление суждениями является весьма специфической формой, присущей именно человеческому сознанию, и, более того, даже в его рамках, как уже отмечалось, не единообразной.**

Например, мышление гипотетического разумного Океана в «Солярис» заведомо не может быть мышлением суждений, а скорее подобно образному человеческому мышлению.

Мышление, контентом которого являются абстрактные понятия называется *абстрактным мышлением.* Например, уже трехлетний ребенок,

который складывает $2+2=4$ не «на пальцах», а «в уме», заведомо обладает абстрактным мышлением, поскольку «два» при таком счете является абстрактным понятием, хотя ещё и не теоретическим.

Впрочем, абстрактное мышление может вовлекать и сенсо-понятия, и даже сенсорные символы в качестве представителя и чувственного примера абстрактных понятий. В таком варианте абстрактное мышление включает и формы образного мышления.

Абстрактное мышление суждениями называется *логическим мышлением*.

Мышление суждениями, всегда сопровождается активацией знаков понятий, которые, при этом, могут быть *предъявлены* (как чувственные представления), и тогда человек, думая, как бы проговаривает свои мысли, а порой даже возникает моторная реакция — человек беззвучно шевелит губами. В этом случае процесс мышления как бы осознается. Но возможно, что активированные знаки не предъявляются, или вызываемые им ощущения подавляются мотивационными центрами. Однако суждения в рамках общественного сознания (см. ниже) всегда предъявлены.

3.8. Общественное сознание

Человеческое сознание невозможно вне социума. Его базовый контент составляют сенсо-понятия, а сенсо-понятия, как уже отмечалось, не формируются в отсутствии коммуникации с другими людьми, поскольку одной из ключевых характеристик сенсо-понятия является его знак, обусловленный именно задачей коммуникации.

Социумом называется некоторое множество людей, каждый из которых находится в коммуникационном контакте с кем-то из остальных. Социум считается *связным*, если он не распадается на два подмножества, так что никто из членов разных подмножеств нет контактирует между собой. Будем в дальнейшем рассматривать связный социум, тем более, что современное человечество именно таковым и является.

Коммуникация между людьми возможна только, если их индивидуальные сознания содержат соотносимые при коммуникации понятия. Но именно из-за индивидуальности человеческих сознаний такое соотнесение отнюдь не является отождествлением. В терминах математической теории структур его можно понимать как морфизм структур, когда образ (опять же, не идентичный) сопоставляемого понятия A оказывается частностью понятия B, которому оно соотносится, то есть значение A отображается в значение B.

Соответственно, отождествление понятий имеет место при биекции их значений. Оно возможно, если сопоставляемые понятия разных инди-

URSS

видуальных сознаний некоторым образом уже адаптированы друг к другу, являются, как бы, тождественным представлением некоей типичной структуры. В этом случае будем говорить, что социум характеризуется *общественным сознанием*, базовый контент которого составляют понятия индивидуального сознания, если они отождествляются при коммуникации между членами социума. Частностью общественного сознания, например, является религия (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*). Другой пример общественного сознания — математика (см. *6. Антропоморфная математика*).

По-видимому, если не первоначально от разумных предков, то с некоторого уровня развития человечества, **любой человеческий социум обладает общественным сознанием.** Тем самым, и **всякое человеческое сознание с необходимостью содержит понятия — объекты общественного сознания, то есть является общественно обусловленным.**

Вообще говоря, у ребенка, изначально оказавшегося вне человеческого общества (вышеупомянутые «маугли») возможно формирование некоего сознания, но, если оно и возникает, это не человеческое сознание. Ещё Аристотелю приписывают высказывание, что «*тот, кто вне общества, — или животное, или бог*».

Поскольку чувственный опыт каждого человека индивидуален, вышеупомянутое отождествление, например, сенсо-понятий индивидуального сознания неизбежно сопровождается их коррекцией, так что сенсо-понятие, обременённое добавочными значениями на основе чужого опыта, становится абстрактным понятием. **Поэтому контент общественного сознания и его представления в индивидуальном сознании составляют абстрактные понятия.**

В то же время, поскольку объекты общественного сознания — это понятия, отождествляемые при коммуникации, то они все имеют знаки и, более того, эти знаки предъявлены в той или иной форме — вербальной, письменной, визуальной и т. п. **Поэтому мышление в рамках общественного сознания всегда в конечном счете принимает форму мышления суждениями.** Даже результат индивидуального мышления, например образного, чтобы стать достоянием общественного сознания, должен быть предъявлен системой суждений. Это позволяет кодировать конституенты общественного сознания упорядоченными наборами знаков понятий, составляющих эти суждения. Но их декодирование, как отмечалось, может происходить только в человеческом сознании. Поскольку же понятия человеческого сознания являются и его объектами, и элементами, то и понятия общественного сознания представляют собой его элементы. Таким образом, общественное сознание — это идеальная система, которая дана совокупностью своих частных представлений в индивидуальных сознаниях, корреляции которых осуществляются посредством коммуникации между членами социума.

Для общественного сознания характерно то, что оно *разрознено* и, более того, противоречиво. Контенты общественного сознания разных

групп связного социума, хотя и пересекаются, но не обязательно совпадают, и корреляции даже совпадающих понятий у них (их *общественная мысль*) могут не совпадать из-за различного коллективного опыта и интересов (мотиваций).

Поскольку сознание человека общественно обусловлено, оно не может радикально опережать общественное сознание его социума. Даже если это и происходит, то интеллектуальные достижения индивидуума становятся достоянием других людей только, если они включены в контент общественного сознания. Последнее развивается исторически на основе конкретного коллективного опыта данного социума. Таким образом, **человеческое сознание *конкретно*** по времени, месту и условиям, обуславливающим индивидуальный опыт человека и коллективный опыт его социума.

Если даже иметь в виду коллективный опыт всего человечества, то он заведомо ограничен. Поэтому контент общественного человеческого сознания тоже неизбежно ограничен, и, например, в физике мы пытаемся описать квантовые объекты понятиями, порождёнными обыденным опытом отношения с классическими макроскопическими физическими системами (см. *7. Кризис фундаментальной физики*).

Даже основы современной математики заложены, исходя из обыденного человеческого опыта (см. *6. Антропоморфная математика*). В частности, образное мышление широко применяется в математике на предварительном эвристическом этапе разработки той или иной математической конструкции, особенно в геометрии. Однако оно не выходит за рамки обыденного человеческого опыта. Так, невозможно представить себе наглядно фигуру в 4-мерном пространстве, например, бутылку Клейна.

URSS

Я мыслю — значит, я есть.
Рене Декарт

ГЛАВА 4
Философия сознания

Отследив генезис человеческого сознания и выявив тем самым его антропоморфные особенности, можно было бы надеяться выделить некую универсальную составляющую человеческого сознания, присущую всем формам сознания. Сознание как таковое является предметом философии сознания, которая, однако, в основном сводится опять же к анализу человеческого сознания. Единственно, философия рассматривает сознание как частность бытия с присущим ему самосознанием, и характеризует его отношением с другими частностями бытия опять же на примере человеческого сознания. Одной из форм такого отношения является познание, включая научное познание.

4.1. Кризис философии как науки

Существуют разные понимания, что есть *философия*. Общими для них всех являются то, что это — форма общественного сознания, имеющая своим содержанием концепцию бытия. До недавнего времени (ещё в конце XX века) философия претендовала на формирование представлений не только о бытии как таковом (онтология), но и о его частностях, являющихся предметом специализированных наук. С одной стороны, мнилось, что путем выявления и синтеза общих закономерностей частных форм бытия можно будет установить его всеобщие законы (марксизм [*Розенталь*]). С другой стороны, философия претендовала на непосредственное, само по себе, вне-научное, осознание неких философских истин (феноменология Гуссерля: «всякое изначальное данное созерцание является истинным источником познания» [*Гуссерль*]). От того и другого приходится отказаться (аналитическая философия).

UFRS

Во-первых, такого рода претензии философии на всеобщность были порождены неразвитостью науки вплоть до середины XX века, когда даже в конкретных дисциплинах можно было обнаружить «доступные созерцанию очевидности». Это время безвозвратно прошло, и сейчас, по крайней мере, в естественных науках всякое новое знание требует изощренной теоретической и экспериментальной техники.

Во-вторых, даже отдельные, например физические, явления в принципе не удаётся описать однозначно, полно и непротиворечиво, поскольку человеческая логика суждений не способна адекватно отражать реальность. Поэтому вряд ли можно надеяться на постижение бытия в целом посредством приписывания ему тех или иных истин и закономерностей.

В-третьих, философы, банально, не знают современную науку, по крайней мере, в части естественных наук. Это принципиальная проблема. Сейчас любая конкретная наука настолько стратифицирована и специализирована как по предмету, так и по методам, что даже специалисты в её смежных областях редко друг друга понимают. Вряд ли можно судить о всеобщности, не зная конкретики.

Что касается, например, физики, то философы в большинстве своём остались в 20–30-х годах прошлого века. Они более или менее знают СТО и основы ОТО, но имеют мало представления о проблематике ОТО, например, о принципиальных трудностях этой теории: проблемах энергии, систем отсчета, сингулярностей, о других теориях гравитации, которые, как и ОТО, удовлетворяют всем известным экспериментальным данным, но которых так много, что для их классификации нужны несколько разных каталогов. А ещё есть обобщенные теории гравитации: с кручением, с неметричностью, геометрия Финслера, многомерные теории Калуца—Клейна, супергравитация и т. д. Знакомство философов с квантовой теорией редко выходит за рамки соотношения неопределенности, вероятностной интерпретации волновой функции и, возможно, уравнения Шредингера. Однако, опять же, они представления не имеют о главной системной проблеме квантовой механики, которая не решена до сих пор. Хотя физика квантовых систем хорошо изучена, не существует универсального математического метода квантования, и каждая такая система квантуется, как теперь принято говорить, «в ручном режиме». Почему? Потому что следует не классические системы квантовать, а наоборот — «деквантовать» квантовые. Однако никто не знает, как это делать.

За горизонтом знания философов остаётся вообще вся фундаментальная физика, начиная со второй половины XX века: квантовая теория поля, теория калибровочных полей — эпицентр современной теоретической физики, не говоря уже о геометрическом и деформационном квантованиях, теории суперсимметрий, некоммутативной геометрии, теории струн, гравитино, глюонах, хиггсовских бозонах, партонах, «цвете», «аромате» и т. д., и т. п.

О какой «новой парадигме в физических знаниях» можно рассуждать, не обладая этими знаниями?

Например, в философии науки «под теорией как высшей формой организации научного знания понимают целостное структурированное в схемах представление о всеобщих и необходимых закономерностях определенной области действительности, и для её построения используют гипотетически-дедуктивный, конструктивно-генетический, исторический и логический методы». Однако что мы имеем в современной теоретической физике? Все более или менее полные её модели построены одинаково. Это математическая теория того или иного математического объекта, отождествляемого с исследуемой физической величиной (см. *Дополнение 1*). Иллюстрацией тому являются теории гравитации, классическая калибровочная теории и вообще классическая теория поля, а также частично — квантовая теория, основанная на так называемой конструкции ГНС (конструкции Гельфанда—Наймарка—Сигала). А вот построить квантовую теорию поля таким способом пока не удалось.

В то же время теорфизические модели, описывающие конкретную реальность, вовсе не следуют философским канонам «о всеобщем». Это, например, теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау и теория электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу. Их лагранжианы были построены, как говорится, «руками» и оказались удачными только потому, что по непонятной пока причине если физическое взаимодействие описывается по теории возмущений, то даже при сильной константе связи основной вклад дают первые два-три порядка. Поэтому потенциал такого взаимодействия достаточно задать полиномом четвертой степени.

Но, если философы всё-таки обладают какими-то познаниями в физике, то они совершенно не знакомы, например, с молекулярной биологией, где даже большинство глаголов имеют узко специальный смысл, понятный только экспертам.

Не опираясь на современную науку, философия вынуждена ограничиться *онтологией* (представлениями о бытии как таковом) и философией сознания. Первая не является наукой в современном понимании. Вторая как наука сводится в основном к *когнитивистике*, являющейся и по предмету, и по методам довольно специальной дисциплиной, изучающей познание и высшие мыслительные процессы на основе применения теоретико-информационных моделей. Таким образом, вполне резонно говорить о кризисе современной философии как междисциплинарной науки. Впрочем, поскольку сама наука является довольно ограниченной формой познания (см. *5.2. Научное познание*), онтология как раздел философии, включая представления о бытии идеальном, сохраняет свое присутствие в общественном сознании.

URSS

4.2. Онтология бытия

Концепция *бытия* как такового восходит к Пармениду и существенно варьируется у Платона, Аристотеля, Августина, Фомы Аквинского, Дунса Скота, Декарта, Спинозы, Лейбница, Канта, Гуссерля, Н. Гартмана, Хайдеггера и других.

Мы не будем углубляться в этот вопрос, констатируя лишь, что в человеческом сознании представление о бытии состоит из частностей, причем, полагается, что всякое представление о частной форме бытия является частностью представления о бытии как таковом. Таким образом, наше представление о бытии характеризуется отношением частности. Поэтому **бытие в терминах математической теории структур можно характеризовать как универсальную структуру**, такую что всякая структура является её конституентом.

Конечно, применять математическую теорию структур (см. *9. Математическая теория структур*) в онтологии бытия следует с осторожностью, поскольку она основана на «антропоморфной» математике и не является универсальной, но всё же некоторые аналогии весьма примечательны.

В частности, известны разные варианты онтологического определения материального, но ни одно из них не является исчерпывающим, и все они ограничены некоторой формой материи. Например, «материальное — это вещественное, сущее которого — масса». Трактуя бытие как универсальную структуру, будем форму бытия (систему) называть *материальной*, если она характеризуется как структура с носителем, то есть её контент не исчерпывается элементами самой структуры. Соответственно, определим *бытие материальное* как универсальную структуру на абсолютном универсуме U — классе, таком что всякое множество является его подмножеством (см. *9.4. Универсальная структура*).

Но есть структуры без носителя. Будем именовать систему *идеальной*, если это — абстрактная структура, то есть реализующаяся на своих элементах. Примером идеальной системы является абстрактная группа, а её представление операторами в некотором пространстве — материальная система, хотя сами элементы этого пространства — носители этой структуры — тоже могут быть элементами некоторой другой структуры. Соответственно, определим *бытие идеальное* — как абстрактную универсальную структуру на универсуме всех множеств V.

В философии выделяют две ипостаси бытия: сущее и существование, и, соответственно, различают бытие как сущее и бытие как существование (последнее, например, по Хайдеггеру и есть собственно бытие — «открытая возможность, развертывающая сама себя» [*Хайдеггер*]). Такое разделение оправдано (Аристотель, Фома Аквинский и др.), если, по крайней мере, не затрагивать бытие идеальное (идеи, духа, Бога и т. п.) (Августин, Ансельм Кентерберийский, Дунс Скот и др.).

В терминах структур сущее бытия состоит именно в том, что это — структура. А вот бытие как существование — это онтологическая концепция вне рамок математической теории структур.

В частности, о бытии материальном можно рассуждать, что его сущее — это структура с носителем, который существует по отношению к её элементам. Поэтому бытие материальное как сущее предполагает его и как существование.

Правда, есть радикальная точка зрения, представленная в философии *субъективным идеализмом* и, наиболее последовательно, *солипсизмом*, которая вообще отрицает бытие материальное. Но эта концепция выходит за рамки данной книги, и мы в дальнейшем не будем её рассматривать, поскольку в этом случае интенциональное рефлексирующее самосознание («Я») не полагает ничто «не-Я» (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*), а значит, нечего познавать, и нет места науке (см. *5. Кризис познания*).

В отличие от бытия материального, упомянутая выше в качестве идеальной системы абстрактная группа сама по себе не существует. Но та же группа как группа матриц имеется, поскольку её элементы являются элементами структуры некоторой материальной системы. Другим примером идеальной системы, которая существует, является нервная деятельность (см. *2.1. Нервная информационно-управляющая система*). При этом, следуя общей концепции бытия, естественно считать, что всякая идеальная система является конституентом бытия идеального как сущее. Однако, ввиду приведенных примеров, бытие идеальное как сущее, вообще говоря, не обязательно предполагает его как существование.

И тут мы подходим к так называемому *основному вопросу философии* (марксизм [*Розенталь*]) об отношении бытия идеального и бытия материального: являются ли они частностями одно другого. Его решение определяется отрицанием или признанием бытия идеального как существование.

Во-первых, бытие материальное как сущее в качестве универсальной структуры на абсолютном универсуме U представимо конституентом бытия идеального как сущее — абстрактной универсальной структуры на универсуме всех множеств V при каноническом вложении U в V (см. *9.4. Универсальная структура*).

Во-вторых, если отрицать бытие идеальное как существование, бытие материальное не является частностью, поскольку его сущее как структуры с носителем предполагает и его существование. Это — *материализм*. При этом, не отвергается и существование идеальных систем. Как показывают приведенные выше примеры, они есть и являются конституентами бытия идеального как сущее, но, что касается их существования, они — дериативы материальных систем.

Заметим, что *дериватив* — это, вообще говоря, онтологическое понятие, за рамками математической теории структур. Будем говорить, что система A является деривативом системы B, если при отсутствии B не сущест-

вовало бы и *A*. При этом, система *B* может быть как необходимым, так и лишь достаточным условием существования системы *A*. В последнем случае говорят, что *дериватив A ссылается* на *B*. Если система *B* является необходимым и достаточным условием существования системы *A*, то будем называть *A атрибутом B*.

Например, структура на носителе является дериватом последнего. Изоморфная ей структура тоже может трактоваться как дериватив, ссылающийся на этот носитель. Однако не всякая идеальная система является дериватом материальной. Так, структура булевой алгебры на универсуме всех множеств V (см. *6.1. Антропоморфность теории множеств*) не сужается на абсолютный универсум U при его каноническом вложении на класс одноточечных множеств в V, поскольку, например, не определена операция пересечения элементов. Поэтому бытие идеальное как существование в целом не может быть дериватом бытия материального.

В-третьих, если не отрицать бытие идеальное как существование (см. *11. Гипотеза Бога как универсальной структуры*), то всякая идеальная система, вообще говоря, может существовать, если и не сама по себе, то в качестве конституента бытия идеального как сущее и как существование. Что касается бытия материального, то оно может возникнуть как определенного рода отчуждение от бытия идеального. Это концепция *дуализма*, предполагающая отдельно и бытие материальное, и бытие идеальное и как сущее, и как существование.

Однако, если даже допустить бытие идеальное как существование, его отношение с «Я» может или не быть соотнесением, или быть соотнесением, но бытие идеальное не выступает его объектом, ибо в противном случае оно оказалось бы частностью «не-Я» (см. *11. Гипотеза Бога как универсальной структуры*). Поэтому в отношении к познанию концепция бытия идеального как существование нами в дальнейшем тоже не рассматривается, хотя она имеет право на присутствие в общественном сознании в качестве мировоззрения.

> **Таким образом, говоря о познании, мы остаемся в рамках материализма.**

Бытие материальное предъявлено человеку своими частностями, и в таком представлении характеризуется ленинским определением материи как «реальности», которая «дана человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них» [*Розенталь*]. Мы будем использовать этот термин, *реальность*, (иногда *внешний мир*), чтобы характеризовать частности бытия материального, которые в отношении сознания действительно или гипотетически, прямо или косвенно выступают как объекты соотнесений.

URSS

Причем, есть частности реальности, на которых соотнесение с человеческим сознанием никак не сказывается. Они составляют то, что принято именовать *объективной реальностью* или *природой*. Далее, выделяют *живую природу*, частности которой — формы жизни, и, соответственно, *неживую природу*, для которой уже как физической системы будем использовать термин *материя*.

Другой, в отличие от природы, частностью бытия материального выступает *общество*.(или *общественное бытие*) — структура, базовый контент которой составляет социум. В частности, его атрибутом является общественное сознание.

Поскольку реальность не отождествляется с бытием материальным, а понимается как его некая частность, а также, чтобы апеллировать к математической теории структур, мы будем условно предполагать, что частности реальности составляют множество. Тогда отношение частности наделяет реальность структурой частностей, которая, будучи абстрактной структурой, представляет эту реальность идеальной системой, что открывает путь к её познанию (см. *5.1. Познание*).

4.3. Онтология сознания

Определив человеческое сознание как структуру, контент которой составляют понятия (см. *3.3. Абстрактные понятия как структуры*), мы ещё никак не охарактеризовали эту структуру, помимо того, что понятия связаны отношением частности. Но понятия — это специфика именно человеческого сознания. А что можно сказать о сознании вообще?

Концепция сознания, как и бытия, восходит к Парменида, Платону, Аристотелю, но детально она стала разрабатываться лишь значительно позже Декартом, Спинозой, Локком, Юмом. Ф*илософия сознания* подразделяется на онтологию (сознания как частности бытия) и гносеологию (эпистемологию) — теорию познания. Впрочем, гносеологию не всегда включают в философию сознания.

Онтология сознания обременена двумя главными проблемами: о сущем сознания (что есть сознание) и об отношении сознания к бытию материальному (так называемая психофизическая проблема).

Начнем с первой из них. При всех различных формулировках, сознание в философии, так или иначе, характеризуется как «способность соотноситься, сознавать что-то» (Гегель). При этом подразумевается, что сознание — это не только способность соотнесения, но и само *соотнесение*.

Если следовать такой концепции, ***сознание*** **можно характеризовать как структуру, базовыми (то есть присутствующими с необходимостью) конституентами которой выступают соотнесения.**

URSS

В терминах математической теории структур сами соотнесения приемлемо трактовать как соотнесения структур (см. *9.3.1. Образ структуры*). С этой точки зрения концепция сознания через соотнесения представляется весьма общей, хотя, возможно, и не всеобъемлющей, ведь привлекаемое понятие структуры на множестве — это опять же продукт нашей «антропоморфной» математики.

Понятие соотнесения предполагает наличие субъекта и объекта соотнесения, отношение подобного рода между которыми характеризуется как *оппозиционность*. При трактовке соотнесения как соотнесения структур сопоставляемая структура выступают, соответственно, как *объект соотнесения*, а её образ (именуемый также *образом соотнесения*) как структура согласуется с *субъектом соотнесения* — сознанием или его конституентом. Такое согласование структур имеет место только, если образ соотнесения является частностью его субъекта, то есть **соотнесение — это морфизм структур** (см. *9.3.4. Морфизмы структур*). Однако, в отличие от морфизма математических структур, соотнесение онтологически понимается как своего рода акт, и поэтому объект соотнесения рассматривается до соотнесения, а его образ и субъект — после.

Поскольку морфизмы — отношения композиции, **сознание является алгебраической, а тем самым, абстрактной структурой, то есть идеальной системой** (см. *9.3.5. Абстрактные структуры*).

Не имея определенных оснований вводить те или иные ограничения, будем рассматривать сознание в его потенциале как универсальную структуру (то есть допускающую любые структуры) на своём контенте (см. *9.2. Структуры*). Тогда всякое соотнесение, если его субъект — всё сознание, является, вообще говоря, представлением, то есть его образ — конституент сознания (см. *9.3.4. Морфизмы структур*).

Трактуя соотнесения как морфизмы структур, следует подчеркнуть, что, хотя субъект соотнесения может быть объектом другого соотнесения, такая композиция соотнесений в общем случае не является соотнесением.

Более того, если говорить о соотнесении вообще структур, субъект соотнесения может выступать и как объект того же самого соотнесения. Поэтому выделение объекта и субъекта соотнесения само по себе не обусловлено самим соотнесением. Однако субъектом соотнесений — конституентов сознания — является само сознание, что предопределяет различие объектов и субъектов таких соотнесений и их направленность на то, что соотносится. Поэтому как об атрибуте сознания говорят, что оно *интенционально*. При этом, интенциональность сознания порой трактуют как свидетельство его субъективной обусловленности. В философии сознания «интенциональность» в последнее время сближается с термином «*квалиа*», что по своей сути опять же выражает способность сознания быть обусловленным субъективной компонентой. Согласно

этой точке зрения, субъект может не знать ничего об объекте, но последний, будучи выделенным посредством интенции, становится объектом сознания.

В рамках трактовки соотнесений как морфизмов структур интенциональность сознания означает следующее. Поскольку у сознания подчас нет другой информации об объекте соотнесения, кроме его образа, соотнесения в сознании **отождествляются по своим образам и с самими образами** как конституентами абстрактной структуры. При этом, возникает неопределенность, что выступает объектом данного образа. Она преодолевается тем, что, с одной стороны, характер соотнесений обусловлен именно их объектами, которые, с другой стороны, благодаря этой неопределенности, представляются субъектами сознания (см. *5.1. Познание*).

Способность соотнесения предполагает соотнесения особого рода — *самоотнесения*, то есть соотнесения сознания самому себе, когда объектом самоотнесения является субъект некоторого соотнесения. Они в сознании составляют (как базовые элементы) *самосознание*. При этом, самосознание не исчерпывает сознание. Оно не включает соотнесения, не являющиеся самоотнесениями. Тогда последние должны выступать как соотнесения сознанию как субъекту нечто вне сознания в качестве объекта. Причем, характер этого нечто как «вне» (являющегося объектом, но не субъектом соотнесений) предполагает *оппозиционность сознания* такому «вне». В рамках онтологии бытия это «вне» характеризуется как реальность.

Следует подчеркнуть, что поскольку субъектом и объектом самоотнесения являются конституенты сознания выделение объекта и субъекта самоотнесения не столь категорично. Поэтому, если в концепции интенциональности акцентировать внимание не на направленности соотнесений, а на самой способности соотнесений, интенциональность выступает в качестве определяющей характеристики сознания и как совокупности интенций — соотнесений, и как их источник (Ф. Брентано, Э. Гуссерль, Ж.-П. Сартр и др.).

Если обратиться конкретно к человеческому сознанию как конституенту психики, контент которого составляют понятия, то соотнесение ему реальности (вернее, предъявляющего её чувственного стимула) в качестве объекта — это не что иное, как проектируемое в сознание (осмысливаемое) когнитивно-чувственное восприятие. Психофизиологический механизм такого рода соотнесения составляют корреляции нервных возбуждений при сопоставлении чувственного стимула и объектов сознания. Причем, будучи, как уже отмечалось, идеальной системой (см. *3.3. Абстрактные понятия как структуры*), человеческое сознание воспринимает объект соотнесения как структуру в той степени, в которой в когнитивно-чувственном образе представлен её контент, то есть как абстрактную структуру. Имея понятия контентом своих образов,

URSS

соотнесения в человеческом сознании сопровождаются (или являются) мышлением.

При этом, **оппозиционность присуща человеческому сознанию уже по его генезису**. У человека сама задача коммуникации подразумевает наличие отделенного от него адресата. Таким образом, человеческое сознание изначально предполагает существование внешнего мира, который представлен в нем когнитивно-чувственными образами, хотя и не сводится к ним. Правда, в обыденности человек, как правило, отождествляет внешний мир с его представлением в сознании (то есть объект соотнесения — с его образом). Действительно, когда человек видит дерево, он не держит всё время в голове, что это лишь образ, а не реальное дерево.

Соответственно, самоотнесения человеческого сознания — это корреляции объектов сознания между собой. При этом, самоотнесение, очевидно, не может ограничиваться только сенсо-понятиями, ссылающимися по своему происхождению на сенсорные символы и, тем самым, на реальность. Поэтому **контент *самосознания человека* составляют абстрактные понятия, а механизм самоотнесения — это абстрактное мышление**.

Заметим, что в таком понимании самосознание не является неотъемлемым атрибутом человеческого сознания. Его, в частности, нет у детей до определенного возраста. Пожалуй, первым проявлением у них самосознания становится присвоение — «моё» (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

Например, уже упоминалось, как древние египтяне говорили: «Луна — это лепешка», что является мышлением — соотнесением, объектом которого выступает чувственный образ Луны, а субъектом — её когнитивно-чувственный образ, включающий сенсо-понятие «лепешка». Однако они не говорили: «Луна — как лепешка», что было бы абстрактным мышлением — самоотнесением, объектом которого служит сенсо-понятие «Луна», а субъектом — абстрактно-чувственный образ Луны как «круглого предмета», подобного лепешке. И тем более, они не говорили: «Луна — круглая», что является самоотнесением, контент которого включает теоретическое понятие «круглый».

Вряд ли сознание *Человека умелого* или эректуса содержало абстрактные понятия и включало самосознание. Хотя в философии самосознание, при всех его разных толкованиях, принято рассматривать как неотъемлемый конституент сознания.

Поскольку корреляции понятий, в отличие от сенсорных символов, сами по себе ничем не обусловлены, они могут порождаться своего рода интенциями, что предполагает интенциональность человеческого сознания. И действительно, **человеческое сознание по самому своему происхождению интенционально**, поскольку изначально обусловлено задачами коммуникации, о чем свидетельствует его вербализация [*Сёрль*]. С одной стороны, его интенциональность, как уже отмечалось, может быть лишь

проявлением имманентной активности, свойственной всему живому (см. *1.2. Имманентные свойства жизни*), то есть не является трансцендентным атрибутом человеческого сознания. Однако, с другой стороны, интенциональность человеческого сознания не ограничивается утилитарными задачами выживания. Примером тому служит такое явление общественного сознания как искусство, элементы которого прослеживаются и у неандертальцев.

Обратимся теперь ко второй из упомянутых проблем онтологии сознания: об отношении сознания к бытию материальному.

Что касается человеческого сознания, то даже в марксистской философии продукт человеческого сознания — субъективный образ объективной реальности — именуется (производным) идеальным, хотя полагается структурой материального.

В терминах математической теории структур, как уже отмечалось, человеческое сознание — это абстрактная структура, контент которой составляют понятия, а базовый контент — сенсо-понятия (см. *3.3. Абстрактные понятия как структуры*). Последние, определяемые отношением отбора (чувственными значениями), представляют собой структуру на множестве сенсорных символов и, тем самым, будучи элементами психики, являются дериативом материальной нервной системы. С другой стороны, сенсо-понятия, наделяемые абстрактными значениями, представляются как структуры на самих себе. Это представление распространяется и на абстрактные, и на теоретические понятия, которые в рамках математической теории структур являются элементами структуры (отношениями отбора по отношению частности) на самих себе, то есть элементами абстрактной структуры.

Таким образом,

> **человеческое сознание — это идеальная система, и в таком качестве оно представляет собой частность бытия идеального как сущее, являясь при этом дериативом материальной нервной системы.**

Возвращаясь к сознанию вообще и оставаясь в рамках материализма, по-видимому, всякую конкретную форму сознания можно характеризовать как идеальную систему, базовый контент которой составляют элементы некоторой структуры с носителем, и которая возникает, тем самым, как дериатив некой материальной системы.

Однако, как показывает пример человеческого сознания, то, что сознание — дериатив материальной системы, не объясняет все аспекты его интенциональности как источника соотнесений, а сами соотнесения онтологически характеризуются как некий акт, что-то происходящее, а значит, существующее. Это позволяет принять, что, если **сущее сознания состоит в том, что это — идеальная система, то ипостасью существо-**

вание сознания является его интенциональность, которая хотя, по-видимому, и определяется, но не исчерпывается тем, что сознание — дериватив материальной системы**.**

Если, однако, отойти от материализма и допустить бытие идеальное как существование, то интенциональность сознания представляется его трансцендентной ипостасью существование (см. *11. Гипотеза Бога как универсальной структуры*).

4.4. «Я» и «не-Я»

Характер соотнесения, присущего интенциональному сознанию, как соотнесения объекта субъекту распространяется на самоотнесения, когда субъектом является самосознание и объектом — сознание, то есть, ещё раз повторим, **самоотнесение — это соотнесение, объект которого представляет собой субъект некоторого соотнесения.** В частности, самосознание выступает и как субъект, и как объект самоотнесений, а самоотнесение самосознания характеризуется как *рефлексия*. Последняя, по Локку, и является, собственно, сознанием. Такое же понимание сознания характерно для Канта и Гуссерля [*Гуссерль*].

Рефлексирующее самосознание (субъект его рефлексии) — ***«Я»*** — составляют самоотнесения как базовые конституенты, объектами которых выступают субъекты тоже самоотнесений.

Соответственно, есть ***«не-Я»***, имеющее своими базовыми конституентами соотнесения, объекты которых не являются субъектами самоотнесений, то есть находятся вне «Я».

Такое «не-Я» включает, **во-первых**, своего рода *объективное «не-Я»*, представленное в сознании соотнесениями, объекты которых не является субъектами каких-либо соотнесений, и, **во-вторых**, также те самоотнесения, объекты которых — это субъекты соотнесений, но не самоотнесений. Назовем такие самоотнесения *субъективным «не-Я»*.

Таким образом, схематично, **самосознание подразделяется на «Я» и субъективное «не-Я», а сознание — на «Я» и «не-Я», или на самосознание и объективное «не-Я».** Такое размежевание имеет смысл, поскольку комбинация соотнесений не определена и, не смотря на то, что соотнесения отождествляются по образу, характер соотнесений, как уже отмечалось, обусловлен именно их объектами.

При этом, следует отметить, что, хотя разные соотнесения отличаются образами, они могут иметь один и тот же субъект, частностями которого эти образы являются. Поэтому, например, образ соотнесения из «не-Я» может быть и субъектом самоотнесения из «Я», но не его образом. С другой стороны, не запрещены самоотнесения из «Я», объектами которых

служат те или иные частности образа соотнесения из объективного «не-Я», если эти частности — сами образы самоотнесений.

В этой связи следует подчеркнуть, что, поскольку морфизм структур предполагает соотнесение их контентов, сужение соотнесения на конституент своего объекта в общем случае не определено. Хотя это возможно, например, в случае истинного представления, когда обратный образ соотнесения является конституентом его объекта (см. *9.3.4. Морфизмы структур*).

В качестве конституента сознания также рассматривается *подсознание* — соотнесения, в том числе самоотнесения, образы которых не являются объектами самоотнесений. Это не означает изоляцию подсознания, поскольку, например, частностям таких образов не запрещено быть объектами самоотнесений. Подсознание может присутствовать, как в «Я», так и в «не-Я». Но, не будучи объектами, соотнесения из подсознания не могут быть предъявлены.

Действительно, конституент сознания предъявлен, если его контент предъявлен. Однако, не всякая структура может быть реализована на предъявленном контенте. Поэтому *предъявление* — это, так или иначе, соотнесение, объектом которого является предъявляемая структура, а субъектом — её предъявленный образ. Следовательно, не являясь ничьим объектом, соотнесение не предъявляемо.

Поскольку, по самому определению «Я» и «не-Я», объекты соотнесений из «не-Я» не являются субъектами самоотнесений из «Я» и, соответственно, образы соотнесений из «не-Я» не могут быть образами самоотнесений из «Я», можно говорить об ***отчуждении «Я» — «не-Я»***. Оно *преодолевается*, когда образы соотнесения из «не-Я» становятся субъектами самоотнесений из «Я», то есть имеют своими частностями образы таких самоотнесений. При этом сохраняется *оппозиционность «Я» и «не-Я»* как объекта и субъекта этих соотнесений.

Отчуждение и преодоление отчуждения «Я» и «не Я» трактуется как *дуализм «Я» и «не Я»*.

Если обратиться к человеческому «Я» то входящие в его контент понятия могут ссылаться только на само это «Я», то есть **контент человеческого «Я» составляют теоретические понятия**, не имеющие в своих значениях сенсо-понятий.

В случае человеческого сознания, объективное «не-Я» представляет реальность — частности бытия материального, выступающие как объекты соотнесений с сознанием. Эти соотнесения — проекции в сознание образов когнитивно-чувственного восприятия, и поэтому базовый контент объективного «не-Я» составляют сенсо-понятия.

Соответственно, субъективное «не-Я» будем именовать *конвенциональной реальностью*. Его конституентами, например, являются представления частностей общественного сознания. Действительно, они — резуль-

URSS

тат не восприятия, а коммуникации — когнитивно-чувственного восприятия, например, речевого сообщения, проектируемого в объективное «не-Я», и его последующего декодирования — самоотнесения в субъективное «не-Я» как суждения. Поэтому базовый контент субъективного «не-Я» не сводится ни к сенсо-понятиям, в отличие от объективного «не-Я», ни к теоретическим понятиям, как контент «Я».

В случае человеческого сознания отчуждение «Я» и «не-Я» выражается в том, что при когнитивно-чувственном восприятии с участием сенсо-понятий, распознание чувственной информации, представляющей реальность в объективном «не-Я», сопровождается активацией не только сенсорных символов, но и сенсо-понятий, в чувственные значения которых они входят. Однако это не относится к теоретическим понятиям, составляющим контент «Я». Если сенсо-понятия диссоциированы от сенсорных символов, то теоретические понятия, как уже отмечалось, отчуждены и от сенсорных символов, и от сенсо-понятий, поскольку они не входят в значения теоретических понятий. Подобное отчуждение также имеет место между «Я» и субъективным «не-Я», базовый контент которого включает абстрактные нетеоретические понятия, не входящие, тем самым, в значения теоретических понятий, а также теоретические понятия общественного сознания, привнесенные при коммуникации и не являющиеся частностями понятий в «Я».

Поэтому сопоставление теоретических понятий тем или иным конституентам чувственного образа реальности может происходить только путем их ассоциирования сенсорным символам, которые при этом не входят в их значения.

В частности, такое ассоциирование выступает как познание «не-Я». Более того, оно может наделять объект из «не-Я» обратным образом, превращая его в субъект самоотнесения из «Я» и, тем самым, преодолевая отчуждение «Я» — «не Я» (см. *5.1. Познание*).

При этом, следует подчеркнуть, что дуализм «Я» и «не Я» — это дуализм человеческого сознания, правда, обусловленного представлением в «не Я» реальности. Поэтому в рамках этого дуализма, как, впрочем, и в обыденности, представление реальности в «не-Я», именно в силу его отчуждённости от «Я», отождествляется с самой реальностью. В частности, упомянутое выше познание, представляющее «не-Я» в «Я», трактуется как познание реальности.

Познание является не единственной формой преодоления отчуждения «Я» — «не Я». Отметим ещё следующие две.

Во-первых, это — *религия*. В отличие от познания, создающего образ «не-Я» в «Я», религия наделяет «не-Я» образами (структурами) из «Я», то есть, как бы, «очеловечивает» реальность. Как форма преодоления отчуждения «Я» — «не Я» **религия является достаточным признаком разумной жизни**, причем довольно развитой, предполагающей наличие само-

сознания и «Я». Например, культура неандертальцев уже включала религиозные культы. Однако пока нет свидетельств религиозности эректуса и более ранних *Homo*.

При этом, будучи формой отношения между «Я» и «не-Я», религия сама по себе не связана с Богом («Оно»), даже если он есть (см. *11. Гипотеза Бога как универсальной структуры*). **Поэтому всякая конкретная религия ложна**. Более того, поскольку религия наделяет «не-Я» образами из «Я», любая религия, по сути, является «язычеством». Однако, будучи ложной как вера, та или иная религия может приобрести большое историческое и «цивилизационное» значение. Например, надо отдать должное христианской религии, утвердившей принцип равенства людей хотя бы перед богом.

Ещё одной формой снятия отчуждения между «Я» и «не-Я» является чувство собственности (см. *10. Структуральная экономика*). Полагая что-то из «не-Я» своим, человек, с одной стороны, воспринимает это что-то как близкое себе и потому неопасное, а с другой стороны объективирует себя в «не-Я» (Гегель). Ребенок начинает осознавать свое «Я», объективировать себя именно через «моё».

URSS

Всякое суждение о чем-либо ложно.
Антисфен

ГЛАВА 5
Кризис познания

В человеческом сознании реальность представима частностями, а потому является, следуя математической терминологии, прямым пределом прямой системы представлений о частных формах бытия и образована совокупностью этих представлений, связанных отношением частности. Такая картина бытия обусловлена спецификой самого человеческого сознания как структуры, контент которой составляют понятия, связанные отношением частности (см. *3.3. Абстрактные понятия как структуры*). Она неизбежно фрагментарна и неполна. Однако главная проблема состоит в том, что даже частности бытия представлены в человеческом сознании заведомо неадекватно — той или иной системой суждений, в соответствии с весьма специфичной антропоморфной структурой человеческого сознания, слабо согласующейся (или вообще не согласующейся, как, например, в случае квантовых систем) со структурой представляемой реальности.

5.1. Познание

Если в терминах математической теории структур рассматривать соотнесения как морфизмы структур (см. *4.3. Онтология сознания*), то соотнесение, имеющие нечто своим объектом порождает образ этого объекта в сознании как его частность и, тем самым, предъявляет этот объект сознанию. В рамках онтологии бытия объектами соотнесений, не являющихся самоотнесениями, как уже отмечалось, выступают частности реальности. Будем трактовать такое предъявление частностей реальности сознанию как знание, если его образ — конституент сознания, то есть представление. Однако мы расширим это понятие, чтобы включить в предмет знания конвенциональную реальность, составляющую предмет, например, такой основополагающей науки, как математика.

URSS

В терминах математической теории структур определим *знание* как образ представления (или, эквивалентно, само представление), объект которого не является образом самоотнесения из «Я», и назовем акт такого представления *узнаванием*. В частности, все представления из «не-Я» являются знанием. В случае человеческого сознания, поскольку контент знания как конституента сознания образуют понятия, **узнавание заведомо сопровождается мышлением**. Пример узнавания — когнитивно-чувственное восприятие, проектируемое в сознание.

Назовем узнавание *осознанием*, если его образ оказывается субъектом самоотнесения, то есть включает в качестве конституента образ какого-либо самоотнесения. Например, все представления из субъективного «не-Я», будучи самоотнесениями, являются осознанием. В человеческом сознании, поскольку самоотнесения — это элементы самосознания, контент которого составляют абстрактные понятия, **осознание с необходимостью предполагает абстрактное мышление**. В частности, механизмы узнавания — это и индивидуальное абстрактно-чувственное восприятие, и коммуникация в рамках социума, вовлекающее общественное сознание.

Например, «большой лес» как результат визуального наблюдения — это знание: когнитивно-чувственный образ, где «лес» — сенсо-понятие и «большой» — ощущение. А «лес — большой» как осмысление увиденного — это осознание, где и «лес», и «большой» — абстрактные понятия общественного сознания.

Согласно приведенному выше определению всякое знание в «Я» является осознанием. Назовем такое осознание *познанием*, то есть, познание — это представления из «Я», объекты которых находятся в «не-Я». Таким образом, **познание — это представление «не-Я» в «Я»**.

При этом, *предмет познания*, то есть вся совокупность его возможных объектов включает как субъективное «не-Я», так и осознания из объективного «не-Я», чьи образы — образы реальности — являются субъектами самоотнесений, то есть включают в качестве конституентов образы самоотнесений. Будем называть такие образы *осознаваемыми*. В частности, к ним относятся знание в субъективном «не-Я» и осознаваемое знание в объективном «не-Я». Последнее для сознания представляют реальность и «по умолчанию» отождествляются им с реальностью. В человеческом сознании, это — спроектированные в сознание образы абстрактно-чувственного восприятия. Обозначим предмет познания как *осознаваемую реальность*, которая, тем самым, включает осознаваемые образы реальности (или в дальнейшем, просто, реальность) и конвенциональную реальность. В человеческом сознании контент такой осознаваемой реальности составляют понятия, и поэтому познание можно рассматривать как представление абстрактных структур.

Следует подчеркнуть, что определенное таким образом познание отнюдь не является позитивистским, поскольку в его предмет входит кон-

венциональная реальность, да и в части реальности, это — осознаваемые (в человеческом сознании абстрактно-чувственные) образы реальности, содержащие образы самосознания. Не стоит заведомо исключать и метафизическое знание, когда сам процесс познания сводится просто к предъявлению этого знания (см. *5.4 Конвенциальное знание*).

В случае человеческого сознания, контент «Я» образуют теоретические понятия. Поэтому **познание является *теоретическим знанием***, которое составляют *теоретические образы* осознаваемой реальности. Но и такой теоретический образ неотчуждаем от человеческой психики, поскольку он сопровождается активацией знаков, задействованных в нём понятий.

Если для простоты ограничиться вербальными знаками теоретических понятий, то теоретическое знание представляется системой суждений. Это обусловлено тем, что, поскольку единственный чувственным стимулом, ассоциированным с теоретическим понятием, является чувственный стимул его знака, теоретическое знание может быть предъявлено только как система высказываний, представляющее систему суждений.

Например, знание, что «автомобиль работает на бензине», является теоретическим, и это — суждение.

Поскольку теоретическое знание представляется в человеческом сознании суждениями, **познание с необходимостью предполагает логическое мышление**, хотя вовсе не исключает и другие формы мышления, в частности, образное мышление, даже в математике. Например, в дифференциальной геометрии многие свойства многообразий можно понять на наглядном примере двумерных поверхностей.

Поскольку форма мышления суждениями является антропоморфной, всякое познание реальности (ее представление в «Я») заведомо неадекватно. Признание этого ведет к агностицизму даже по отношению к метафизическому знанию. Известно древнегреческое изречение: «*Всякое суждение о чем-либо ложно*» (Антисфен).

Будучи, как уже отмечалось, представлением абстрактных структур, познание характеризуется двумя важными свойствами (см. *9.3.5. Абстрактные структуры*). Во-первых, соотнесение их абстрактных контентов является отображением множеств, то есть элемент контента объекта имеет единственный образ, хотя, возможно, пустой. Поэтому, во-вторых, если объект познания наделить обратным образом, то образ познания совпадет с образом этого обратного образа на объекте (см. *9.3.1. Образ структуры*). При этом, наделение объекта обратным образом является самоотнесением из «Я», которое превращает его в субъект самоотнесения из «Я» и, тем самым, **преодолевает отчуждение для «Я» этого объекта из «не-Я».**

5.2. Научное познание

Наука — особая форма познания. **Предмет науки — только воспроизводящиеся (реально или гипотетически) частности реальности**, включая конвенциональную реальность. Наука представляет их образы посредством теоретических суждений, которые характеризуются как закономерности. Эти суждения объединены в систему мышлением, которое является абстрактным мышлением суждениями, то есть логическим мышлением.

Правда, это не совсем так для общественных наук. Общественная система меняется со временем и не воспроизводима. Завтра общество уже не то, что сегодня, и никогда в точности таким уже не будет. Поэтому объектом общественных наук, строго говоря, является только прошлое, но не настоящее и будущее (см. *10. Структуральная экономика*).

Что касается естественных наук, то, поскольку научные законы на невоспроизводящиеся явления не распространяются, такие явления («чудеса») никаким законам формально и не противоречат. Например, изредка то из одной, то из другой авторитетной ускорительной лаборатории приходили сообщения о разовых наблюдениях чего-то необычного. Так, несколько раз объявляли, якобы, об открытии монополя Дирака. Но потом ни в самой лаборатории, ни в других эти наблюдения не воспроизводились. Естественно было бы всё это списать на «ошибку прибора». Однако можно предположить и другое. Наш физический мир не уникален, и в принципе возможно существование миров с другими физическими законами, которые могут спонтанно возникать на очень короткое (меньше 10^{-22} сек) время, но исчезают, оказавшись неустойчивыми. Такие единичные события не противоречат законам науки.

Поскольку объекты науки — воспроизводящиеся (а не уникальные) явления, и, тем самым, являющиеся общезначимыми, **наука (*научное знание*) — составляющая общественного сознания**. Поэтому для индивидуального «Я» наука — конституент осознаваемой реальности («не-Я»), порой, «по умолчанию», подменяющая представляемую ею реальность, и потому сама является предметом познания. Доминирующая часть научного знания обычно получена человеком путем коммуникации, и потому представляет конвенциональную реальность — конституент субъективного «не-Я».

Следует различать научное знание и опыт. Опыт не является теоретическим знанием, хотя, конечно, может включать теоретические понятия. Опыт — абстрактно-чувственное знание, не конституент «Я», и потому, строго говоря, не является познанием.

Сама наука тоже подразделяется на *фундаментальную*, *прикладную* и *технологическую*. Фундаментальная наука открывает новые законы, прикладная наука апробирует уже известные законы в утилитарных целях, а технологическая (техническая) наука разрабатывает желаемый продукт и технологии его производства. Таким образом, наука как форма познания — это, конечно,

URSS

прежде всего, фундаментальная наука. Именно она даёт знание, а прикладная и технологическая науки его опосредуют. Однако всякое знание самоценно само по себе, даже если оно утилитарно не востребовано. Почему? **Во-первых**, знание — это о том, что есть, вне отношения к нему человека. Человечества могло и не быть, а гравитация есть. **Во-вторых**, заранее не известно, чем обернется то или иное знание. Никто в 1932 г. не предугадывал, что открытие нейтрона, уже через 13 лет приведет к созданию мощнейшего оружия. **В-третьих**, никакое знание не изолировано, оно всегда встроено в общее знание, да и в мировоззрение. Хрестоматийный пример — эйнштейновская специальная теория относительности. В начале XX века в ней разбирались единицы, но мысль, что даже время не абсолютно, изменило тогдашнее человечество. Правда, ещё в конце XIX века почти вся наука была фундаментальной, а в XVI веке её, вообще говоря, не было.

Первой как наука стала формироваться древнегреческая математика, когда математические знания стали получать в результате логического мышления, хотя её объекты — геометрические фигуры и числа — представляли абстрактно-чувственные образы. Вполне наукой математика, пожалуй, стала лишь в конце XIX века, когда её объекты трансформировались в теоретические понятия и было признано правомерным доказательство существования не путем построения (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*). За математикой последовали физика и другие науки. Именно в XX веке наука стала полноценной, развернутой и доминирующей формой познания, главным фактором прогресса человеческой цивилизации. Отчасти это было обусловлено экономически, когда основным средством получения прибыли стало создание нового продукта (см. *10. Структуральная экономика*).

Однако в XX веке обозначился и кризис научного, да и вообще, познания: ещё в начале столетия в математике, выразившийся в неоднозначности аксиоматизации теории множеств и неполноте логики (см. *6. Антропоморфная математика*), а в его конце и в фундаментальной физике, поскольку не удалось дать исчерпывающую формулировку даже классической механики, не говоря уже о квантовой теории поля (см. *7.1. Заблуждение Дирака*).

Суть этого кризиса состоит в том, что мышление суждениями весьма специфично, присуще именно человеческому сознанию и, тем самым, является частной антропоморфной, не универсальной, формой мышления. Поэтому **представление реальности суждениями в человеческом сознании, в том числе научное знание, заведомо неадекватно: оно неизбежно условно, относительно, многовариантно и противоречиво**.

Научное знание **условно**, поскольку реальность (если это не конвенциальная реальность) как структура не содержит понятий в качестве какой-либо подструктуры. Например, суждение: «Человек смертен», не является адекватным представлением реальности, ибо в природе нет человека в общем и смерти в общем. Есть конкретная смерть конкретного человека.

Оно **относительно**, поскольку всегда представляет некоторую частность реальности.

Научное знание **многовариантно**, так как всякая реальность представляется своими частностями и даже представления одних и тех же частностей многообразны.

Оно **противоречиво**, ибо представления разных частностей одной и той же реальности не согласуются, иначе они представлялись бы как объединенная частность.

Например, долгое время среди физиков был широко популярен тезис Дирака: «*Физический закон должен обладать математической красотой*», написанный им мелом на стене кабинета Д. Д. Иваненко 4-58 на физфаке МГУ в 1956 г. Однако ни одна современная реалистическая модель этому тезису не удовлетворяет. В частности, объединенная теория электрослабых взаимодействий, экспериментально подтверждённая, математически просто корява. Сейчас только классическая теория поля допускает целостную математическую формулировку в терминах расслоений (см. *7.1. Заблуждение Дирака*). Фундаментальные проблемы остаются в классической механике: не удаётся даже дать определение инерциальных систем отсчета. В квантовой механике доминируют два принципиально несогласуемых метода квантования: алгебраическое (конструкция Гельфанда—Наймарка—Сигала) и каноническое. Но главная «головная боль» современной теоретической физики — это квантовая теория поля. Некоторые её части (аксиоматическая квантовая теория, пертурбативная квантовая теория, квантовая электродинамика) сами по себе выглядят удовлетворительно. Однако объединяющей их математической модели найти пока не удалось.

Другой пример — атомное ядро. Хотя ядерная физика с 50-х годов XX века стала прикладной и технической наукой, сколько-нибудь исчерпывающей теории атомного ядра и внутриядерных сил так и нет. Есть разные частные по своей применимости модели: оболочечная, капельная, кластерная, оптическая, сверхтекучая, статистическая и др. Более того, общую теорию ядра уже давно зареклись строить, вполне удовлетворившись феноменологическими формулами и закономерностями.

Таким образом, современная ситуация в теоретической физике вынуждает признать, что

> **никакая сколько-нибудь сложная физическая система не описывается единственной теоретической моделью. Необходимы несколько моделей, каждая из которых имеет свою область приложения и характеризует только часть или какой-то один аспект физической системы. Причем, на пересечении областей приложения эти модели принципиально не согласуются.**

Хрестоматийный тому пример — корпускулярно-волновая теория света.

URSS

В этой связи правомерно было бы говорить о *диалектике* процесса научного познания, но не о диалектике научного знания, по крайней мере, что касается естественных наук, за исключением, возможно, отчасти биологии. В неживой природе нет развития, нет противоречий и, тем более, нет «борьбы противоположностей», апофеозом которой является «отрицание отрицания». Хотя, что понимать под развитием? Можно сказать, что развитие — это трансформация системы по диалектическим законам. Однако, получается опять исконно философское: «это правильно, потому что оно верно». Есть, например, автоколебательные процессы, но в них не усматривается никакой «борьбы». Конечно, физические системы структурированы, и динамика системы, сохраняющая данную структуру, подчиняется определенным закономерностям. Однако я не вижу в этом онтологического закона «перехода количества в качество», поскольку не возникает никакого нового физического взаимодействия и, если не углубляться в физику ядра и элементарных частиц, всё является эффективным результатом действия электромагнитных и гравитационных сил. И в научном знании не достигается «единство противоречий», они повсеместно так и остаются в принципе неразрешимыми противоречиями.

Научное знание многовариантно и противоречиво не только потому, что мышление суждениями — логическое мышление — неадекватно представляет реальность, но и так как логика суждений сама по себе внутренне не согласована.

Среди главных достижений математики XX века называют теоремы Гёделя о неполноте, опубликованные в 1931 г. и показавшие, что в формальной логике непротиворечивая система суждений не обязательно полна, то есть существуют истинные, но не выводимые в рамках этой системы утверждения (см. *6.2. Многовариантность и неполнота логики*). Тем самым, в частности, была установлена принципиальная невозможность формализации математики, предложенной Гильбертом, то есть даже развиваемая нами математика оказывается не универсальной.

Предметом формальной логики являются формальные системы — множества, на элементах которых определены операции, подчиняющиеся тем или иным логическим правилам человеческого мышления. Сами эти правила являются продуктом осмысления эволюционно сложившихся закономерностей психических процессов в человеческом сознании. Их характер определяет элементы формальной системы как суждения на некотором формальном «языке». Таким образом, формальная логика — это фактически абстрагированная логика человеческих суждений, и вся математика сформулирована посредством суждений.

Теоремы Гёделя относятся к классической логике первого порядка, которая считается наиболее адекватной формализацией логического мышления человека. Теоремы Гёделя развивали аксиоматическую теорию натуральных чисел Р. Дедекинда и Дж. Пеано.

URSS

Первая теорема Гёделя о неполноте утверждает, что во всякой достаточно развернутой (содержащей арифметику) логике первого порядка, если она непротиворечива, существует формально *неразрешимое суждение*, то есть ни само это суждение, ни его отрицание не являются выводимыми в этой системе, хотя в стандартной интерпретации арифметики Пеано натуральных чисел оно истинно.

Вторая теорема Гёделя о неполноте устанавливает, что в арифметике натуральных чисел таким неразрешимым суждением является утверждение о непротиворечивости самой этой арифметики, то есть доказательство её непротиворечивости невозможно в рамках самой арифметики.

Конечно, арифметика является весьма частным формальным вариантом логической системы, но, опираясь на этот пример, можно сказать, если не строго математически, то на методологическом уровне, что **любая достаточно сложная система суждений человеческого мышления является или неполной** (не всякая истина в ней выводима), **или противоречивой** (существуют заключения, истинность которых невозможно установить).

Например, суждение, что «все люди смертны», не выводимо в рамках системы суждений о бесконечном множестве людей, хотя оно истинно. Его отрицание, что «все люди бессмертны», тоже не выводимо. Поэтому система суждений о бесконечном множестве людей неполна, хотя, возможно, может быть и непротиворечивой.

Помимо математической логики, фундамент современной математики составляет аксиоматика теории множеств (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*). В начальный период своего развития в конце XIX века теория множеств основывалась на интуитивном понятии множества (в частности, у создателя теории множеств Г. Кантора). Однако вскоре оказалось, что неопределенность этого термина ведет к противоречиям (антиномиям), из которых наиболее известны антиномии Кантора (1899 г.) и Рассела (1901 г.). Развернувшаяся вокруг антиномий полемика стимулировала разработку аксиоматики теории множеств, хотя её аксиомы тоже основаны на эмпирическом опыте. Первую аксиоматику теории множеств предложил Эрнст Цермело в 1908 г. В настоящее время существуют различные аксиоматические системы теории множеств, которые разделяются на четыре группы. Из них отметим системы Цермело—Френкеля и фон Неймана—Бернайса—Гёделя. В математической физике главным образом используется аксиоматика фон Неймана—Бернайса—Гёделя, на которой, в частности, базируется теория категорий. При всем разнообразии аксиоматических систем теории множеств, все они включают некоторые основные понятия и аксиомы. Например, это — понятия элемента, подмножества, его дополнения, пустого множества, а также аксиомы существования, объединения и пересечения множеств. **Все они пришли из обыденной практики человека, имеющего дело с макроскопическими классическими объектами**. Однако они не столь очевидны, например, в квантовом мире.

5.3. Концепция истины

Знание, выраженное системой суждений, называется *мнением*. В частности, всякое теоретическое знание, в том числе научное, является мнением. То, что мнение, как обсуждалось выше, заведомо неадекватно представляет реальность, ставит вопрос как о правомерности вообще самого критерия адекватности, так и о его содержании, что приводит к понятию истины.

Концепция истины является порождением древнегреческой культуры и восходит к Пармениду, противопоставлявшему истину мнению. Она возникла благодаря той особенности религии древних греков, что их боги не всемогущи. Есть судьба, над которой они не властны. Концепция истины выражала представление древних греков о существовании чего-то объективного, не зависящего от воли людей и даже богов (понятие бытия). А значит, истина как знание бытия превыше всего. Последующие определения истины (от Аристотеля до современных философов) в большинстве своём тоже наследуют эту традицию (классическая концепция истины) и, так или иначе, сводятся к тому, что ***истина* — это частность знания, адекватно представляющая некоторую частность реальности**.

При этом, истина может быть как позитивистской (Демокрит, Эпикур, Гегель, Маркс), так и метафизической (Кант). Правда, в последнем случае истина как частность знания обычно трактуется как предъявление истины, понимаемой более широко в качестве частности бытия идеального (Платон, Августин, Ж. Маритен, Н. Гартман), в том числе божественного (Фома Аквинский), или гипотетического идеального — некоторого недостижимого предела (Декарт, Спиноза, Лейбниц, Фихте). Вопрос о верификации метафизической истины не стоит. Она считается такова по самой своей данности. Конвенциональное знание истинно постольку, поскольку оно полагается знанием (см. *5.4 Конвенциональное знание*). **Проблема истинности возникает в отношении именно позитивистского знания — представления реальности**.

В рамках рационализма критерием истинности полагается опыт. Однако опыт всегда ограничен, он может восприниматься по-разному, он порой единичен и невоспроизводим.

Например, наблюдаемое движение Солнца по небосклону до Коперника трактовали без каких-либо сомнений как движение Солнца вокруг Земли. Коперник выдвинул гипотезу, что Земля и другие планеты вращаются вокруг Солнца не на основании неопровержимых фактов, а лишь как вариант оптимального объяснения замысловатого перемещения планет по небосклону. Таким образом, критерием истинности в данном случае была гармонизация некоторой совокупности знаний.

Особенно трудно верифицировать знания об общественных явлениях, их причинах и механизмах, особенно представленных личными свиде-

тельствами. Даже сам факт, что некое общественное событие произошло, порой не удаётся надёжно удостоверить.

Например, история России XIII – XV веков почти сплошь состоит из мифов. Источники этих мифов — летописи. Если даже летописное свидетельство, современное тому или иному событию сохранилось, оно всегда оказывается весьма лаконичным, и более поздние летописи неизменно дополняли его эмоциональными домыслами. Показателен пример летописной истории Куликовской битвы. Наиболее древнее известное свидетельство о ней содержится в Троицкой летописи, которую открыл Карамзин, но которая потом сгорела в Московском пожаре в 1812 г. Она была доведена до 1408 г. и основывалась на своде 1305 г. (Лаврентьевская летопись). Вплоть до 1390 г. к Троицкой летописи близки тексты Симоновской и Рогожской летописей. Свидетельство о Куликовской битве в этих летописях весьма краткое: оно лишь констатирует, что войско Дмитрия возвратилось с победой и богатой добычей, и перечисляет погибших, включая Михаила Бренка и Александа Пересвета. Широко же известные красочные подробности о роли Сергия Радонежского, поединка Пересвета, переодевании между князем Дмитрием и Михаилом Бренком, засадном полке Владимира Серпуховского и Дмитрия Боброка, ночном гадании князя Дмитрия и Дмитрия Боброка, поиске князя Дмитрия после битвы и т. д. — всё это из более поздних летописей и сказаний, таких как «Сказание о Мамаевом побоище» и Никановская летопись. Поэтому сам Карамзин свой рассказ о Куликовской битве основывал не на Троицкой летописи, свидетельство которой считал, по-видимому, весьма скудным, а на Никоновской летописи начала 16-го века, хотя сам же критиковал её как «сказку», но не стал отвергать некоторых обстоятельств, «вероятных и сбыточных, в ней находящихся, ибо автор её мог пользоваться преданиями современников», приняв это в качестве, если не критерия, то признака истинности.

Поэтому, помимо опыта, выдвигаются и другие критерии истинности знания, в частности, как в упоминавшейся гелиоцентрической картине мира Коперника, исходя из его сочетаемости с другими знаниями. Так, Авенариус и Мах понимали истину как согласованность ощущений. В философии эмпиризма, истина трактуется как соответствие мышления ощущениям субъекта (Д. Юм, Б. Рассел), либо в качестве совпадения идей и поступков со стремлениями личности (У. Джемс, Х. Файхингер). В экзистенциализме развивалось представление о личной истине, в границах которой интуитивно раскрывается бытие в его подлинности. Ф. Ницше связывал истину с идеями вечного возвращения и переоценки ценностей. Ж.-П. Сартр считал, что сущность истины есть свобода. Неопозитивизм разделяет истины на эмпирические (подтверждаемые опытом) и логические (не зависящие от опыта, априорные). Конвенционалисты (А. Пуанкаре и др.) утверждали, что истина, вообще говоря, имеет условно-договорный характер, как, например, версия Куликовской битвы Карамзина.

Более того, большинство людей, вообще, не следует концепции истины. Например, есть когнитивно-чувственное знание, что каждый человек умрет, но истинность мнения, что «человек смертен», религиозные люди вообще отвергают, полагая, что он смертен лишь телесно. Большинство людей исходит не из того, «что должно быть», а из того, «что бывает», то есть из опыта, а не из истины. Они оценивают знание не его истинностью, а его авторитетностью.

Что касается научной истины, то она призвана быть не только результатом научного познания, но является и его целью, по крайней мере, для фундаментальной науки. Однако, как отмечалось выше, научное знание, выраженное системой суждений, заведомо не может адекватно представлять реальность. Поэтому, хотя реальность единственна, что бы ни полагалось истиной, **научная истина неизбежно условна, относительна, многовариантна и противоречива**.

5.4. Конвенциональное знание

Понимание того, что предмет научного познания может включать конвенциональную реальность, пришло в начале XX вместе со становлением математики как науки (конвенционализм Анри Пуанкаре). Назовем познание конвенциальной реальности *конвенциональным знанием* и ограничимся научным познанием.

В сравнении с реальностью, конвенциальная реальность как предмет научного познания характеризуется двумя особенностями.

Во-первых, она не единственна, поскольку люди сами отбирают умственные образы для изучения.

В частности, как уже отмечалось, для индивидуального «Я» научное знание как конституент общественного сознания, полученное посредством коммуникации, является конвенциональной реальностью.

Во-вторых, люди, опять же, сами устанавливают правила и критерии исследования умственных структур, и выводимое таким образом знание по соглашению полагается истинным. Но и «неправильное» в этом смысле знание зачастую не отвергается, «под него» могут подстраиваться правила, и оно оказывается истинным даже порой в позитивистском смысле. Тем более, что выработанные критерии истинности конвенционального знания по своему происхождению апеллируют, всё-таки, к эмпирическому опыту.

Например, в математике предлагаются различные варианты аксиоматики теории множеств: с аксиомой выбора — без аксиомы выбора, с аксиомой регулярности — без аксиомы регулярности и т. д., которые приводят к разным результатам (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*). В теоретической физике с середины прошлого века доминировал принцип

симметрии, что физическая теория должна строиться инвариантной относительно той или иной группы преобразований. Однако в реальности оказалось, что едва ли ни все известные симметрии фундаментальных взаимодействий нарушены, и это нарушение носит принципиальный характер (см. *7.1. Заблуждение Дирака*).

Следует отметить, что конвенциальная реальность, за, возможно, редким исключением, является предметом двух наук — математики и *теоретической физики*, к которой на протяжении последнего полувека относятся квантовая теория, теория поля, теория элементарных частиц и теория гравитации, включая астрофизические и космологические модели. Конечно, выдвигаемые физические теории в принципе предполагается верифицировать, но, как показало развитие физики последних десятилетий, даже если это и удаётся, то только в некоторых их частностях (см. *7.1. Заблуждение Дирака*). Поэтому содержание этих теорий в значительной мере, а то и полностью — конвенциальное знание.

В математике конвенциальное знание — *выводное знание*, хотя до конца XIX века апеллирующее к эмпирическому опыту. Это — суждение, представляющее собой теорему в рамках некоторой формальной системы (см. *6.3. Теоремы Гёделя о неполноте*).

Современная математика по своей методологии восходит к древнегреческой математике. Хотя математика развивалась и в других древних странах: Египте, Месопотамии, Китае, именно у греков (пифагорейцы) оперирование абстрактными понятиями приняло форму логического мышления по определенным правилам, позволявшим из истинных суждений получать истинные (см. *6. Антропоморфная математика*).

Греки, как уже отмечалось, ввели концепцию истины. Исходные математические суждения (*аксиомы*) полагались априори истинными, хотя, конечно, они основывались на опыте и формулировались в абстрактных (не теоретических) понятиях. Последовательностью логических умозаключений из аксиом выводились следствия (теоремы), истинность которых, в конечном счете, тоже проверялась на опыте, но не только. Естественно было предположить (исходя, опять же, из практики с конечными системами классических макроскопических предметов), что два взаимно отрицающих друг друга суждения не могут быть истинными (*закон противоречия*). Поэтому *непротиворечивость* — выполнение закона противоречия — стала формальным критерием истинности и в логике, и в математике. Апробирование условием непротиворечивости и соответствием эмпирическому опыту, постепенно выработало правила логического мышления, позволявших из истинных (в указанном выше смысле) суждений выводить истинные (см. *6.2. Многовариантность и неполнота логики*). Для древних греков было поразительно, что абстрактные рассуждения приводили к опытно подтверждаемым результатам. Они абсолютизировали законы логики как априорные (метафизические) истины, хотя и столкнулись с разного рода

логическими парадоксами. Упомянем, например, *парадокс лжеца*, гласящий: *«Это утверждение ложно»*.

По мере превращения математики в науку (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*), **непротиворечивость стала единственным в ней критерием истинности конвенционального знания**. При этом, вполне допускается возможность разных исходных постулатов (аксиом), как, например, аксиоматик теории множеств, истинность которых уже не обсуждается. Всё это дало основание Гильберту в начале XX века выдвинуть задачу формализации математики, первым этапом которой было бы установление непротиворечивости теории множеств.

Однако критерий непротиворечивости в математике был несколько поколеблен двумя теоремами Гёделя о неполноте, установленными им в 1930 г. и опубликованными в 1931 г. (см. *6.3. Теоремы Гёделя о неполноте*). Они утверждают, что, если формальная арифметика непротиворечива, то она неполна, то есть в ней есть формула, такая что ни она сама, ни её отрицание не выводимы, и что такой формулой является утверждении непротиворечивости самой формальной арифметики, то есть эта непротиворечивость не может быть доказана в рамках самой формальной арифметики. Правда, в этих теоремах критерий непротиворечивости, обусловлен требованием конечной выводимости непротиворечивой формулы в рамках самой формальной системы. Так, непротиворечивость арифметики Пеано была доказана Г. Генценом в 1936 г. методом трансфинитной индукции до ординала ε_0, но вне рамок самой этой арифметики.

Если теперь обратиться к теоретической физике (см. *7. Кризис фундаментальной физики*), то все активно развиваемые сейчас теории: супергеометрия, некоммутативная геометрия, струны, многомерие и др., разрабатываются как сугубо математические модели, хотя и используют отчасти физическую терминологию. Современная классическая теория гравитации насчитывает несколько сотен вариантов, одинаково удовлетворяющих всем полученным экспериментальным данным, и даже в принципе нет надежды их сколько-нибудь однозначной верификации. Это можно сказать и о моделях квантовой гравитации. Поэтому в теоретической физике, тоже стоит вопрос об истинности конвенционального знания. В рамках одной теорфизической модели, как и в математике, таким критерием истинности выступает условие непротиворечивости. Однако одна и та же физическая система, как уже неоднократно отмечалось, с необходимостью описывается разными такими моделями, которые на пересечении областей применимости принципиально не согласуются.

URSS

Дважды два не всегда — четыре, например,
в поле вычетов по модулю три.

ГЛАВА 6

Антропоморфная математика

Предлагались различные определения науки математики (от Декарта до Бурбаки). Я бы сформулировал, что ***математика* — это наука о множествах**. Единственным объектом в математике, не представляющим собой множество, является класс, да и то, это — класс всех правильных множеств (или всех множеств в аксиоматике фон Неймана—Бернайса—Гёделя).

Поэтому в основе математики лежит определение понятия множества, формулируемое набором постулатов — аксиом. Первая и главная из них, что множества состоят из элементов, единственной характеристикой которых как элементов является то, что они — элементы множества. Это определяет абстрактный характер и специфику математики как науки: **её предмет — конвенциальная реальность**. Поэтому не все склонны причислять математику к естественным наукам.

В то же время, все наблюдаемые объекты реальности (по крайней мере, не квантовые), насколько они нам известны, представляют собой множества. И в той мере, в какой это их качество проявляется, математика применима для описания реального мира, в том числе в других науках. В этой же мере математические абстракции имеют реализацию в реальном мире. И первоначально, вплоть до конца XIX века, именно абстрагирование реальностей и установление отношений между этими абстракциями составляло методологию математики как науки. Поэтому, **существующая математика эмпирична уже в своих основах — теории множеств и математической логике**.

Это нашло отражение и в особенности понимания истины в математики — истинность абстрактных конструкций проверялась опытом, а с другой стороны, на этой базе вырабатывались критерии конвенциональной истины: **истинно то, что логически непротиворечиво**. Но именно сам этот критерий, основанный на логике суждений, оказался противоречивым.

URSS

6.1. Эмпиричность теории множеств

Современная математика по своему генезису восходит к древнегреческой математике, хотя надо отметить довольно богатое математическое знание также в древних Египте, Месопотамии и Китае, включая решение квадратных и кубических уравнений и систем линейных уравнений, формулы площадей и объёмов разных фигур, соотношение квадратуры круга и теорему Пифагора [*Бурбаки, 1963*].

Древняя математика развивалась как арифметика целых и рациональных чисел и как геометрия фигур. Иррациональные числа возникали, но приближенно, как рациональные. Число и фигура были в ней абстрактными понятиями — число чего-то и идеализированный образ тел, заменяемый в процессе оперирования чувственными примерами. Особенность древнегреческой математики состояла в том, что в ней широко использовалась методология выводов и доказательств как последовательности суждений, каждое из которых не вызывало бы сомнений (Евклид, Архимед, Апполоний). При этом истинность математических суждений устанавливалась соответствием результата эмпирическому опыту.

Так продолжалось до XVII века, когда пришли к математическим объектам, не имеющим чувственного представителя, например, отрицательным и мнимым числам, функциям и, уж тем более, исчислению бесконечно малых. Однако обращение к теоретическим понятиям в математике происходило настолько мучительно, что ещё в 1831 г. Гаусс считал нужным разъяснять «равноправность» положительных и отрицательных чисел. И только в конце XIX века была признана правомерность доказательств существования без построения.

К середине XIX века, наконец, пришло осознание, что в математике приходится иметь дело с множеством объектов, не имеющих какого-либо чувственного примера, и что именно они, выражаемые теоретическими понятиями, являются объектами математики как науки. Соответственно встал вопрос о формализации математики, и в 1988 г. Дедекинд, а тремя годами позже Пеано сформулировали полную систему аксиом арифметики. Но в основе математики лежит не теория чисел, а теория множеств.

Можно констатировать, что математики, да и философы с древнегреческих времен, так или иначе, обращались к концепции множества. Однако только в конце XIX века встал вопрос о формализации этого понятия. Теория множеств была создана в преобладающей мере работами Кантора и, как можно сказать, получила официальное признание на Первом международном конгрессе математиков в 1897 г. При этом, основные эвристические достижения Кантора относились к теории кардинальных чисел, тогда как понятия принадлежности, включения и связанные с ними аспекты представлялись вполне очевидными и не возбуждали полемики. Но именно эта часть теории множеств, базовая для всех её существующих

аксиоматик, обуславливает антропоморфный неуниверсальный характер этой теории, а тем самым и всей математики. Она просто формализовала эмпирическое знание о конечных множествах классических макроскопических предметов в духе известного тезиса Кантора: «Под множеством понимают объединение в одно общее объектов, хорошо различаемых нашей интуицией или нашей мыслью».

Действительно, теория множеств исходит из двух первичных понятий — «множество» и «элемент». Элемент характеризуется только отношением «быть элементом», а множество — тем, что «оно состоит из элементов» и однозначно ими определяется, а также операциями объединения и разности двух множеств, которые задают также операции включения, пересечения и дополнения множеств [*Куратовский, 1970*]. В частности, элемент x и состоящее из него множество $\{x\}$ — это разные объекты. Предполагается, что и множество X может быть элементом $[X]$ некоторого множества, причем «наравне» со своими элементами (*аксиома бесконечности*). В частности, $[X]$ — элемент множества подмножеств (*булеана*) 2^X, существование которого устанавливается *аксиомой степени*. Однако, например, одноэлементное множество $\{x\}$, рассматриваемое само как элемент $[\{x\}]$, отлично от своего элемента x, потому что $[\{x\}] \notin \{x\}$, поскольку $x \in \{x\}$.

Приведем наиболее очевидную и указываемую обычно первой *аксиому объёмности*.

> **Если множества *A* и *B* составлены из одних и тех же элементов, то они совпадают.**

Содержащиеся в ней глаголы «составлены» и «совпадают» апеллируют к чувственным примерам из эмпирического опыта. Они могут быть определены как теоретические понятия, но тогда становятся малосодержательными и затруднительными для применения. Это относится и к перечисленным выше операциям над множествами, и вообще математическому языку, особенно глаголам. Когда говорят: «отображение множеств», вполне ясно, о чем идет речь, но это понятие невозможно теоретически определить, разве только, просто, его постулировать. В середине XX века широко известный коллектив математиков Бурбаки поставил целью формализовать математическую лексику, избавив её от эмпиричности, что нашло отражение в их томе «Теория множеств» [*Бурбаки, 1965*]. Но то, что в результате получилось, было трудно читать, и последующие тома, например, «Общая топология» [*Бурбаки, 1968, 1969*] были написаны уже «человеческим» языком. Причем, это нисколько не умалило строгость изложения. Почему? Именно потому, что в своих основах существующая математика апеллирует к эмпирическому знанию о мире макроскопических классических тел, и обыденный человеческий язык ей адекватен.

URSS

Ситуация в корне изменилась с открытием квантовых систем, к которым такие понятия, как «элемент», «часть», «дополнение» и т. п. не применимы. В классической механике есть простейший бесструктурный объект — материальная точка, которая может служить чувственным примером математического понятия «элемент». В квантовой теории подобных объектов нет. Все квантовые объекты структурированы, и есть квантовые системы, характеризуемые неприводимыми представлениями алгебр квантовых наблюдаемых, которые не содержат подсистем. Поэтому первоначально представлялось, что на квантовом уровне физический мир является совершенно другим и что квантовая теория потребует разработки новой математики.

И действительно, в 1925 г., преодолевая трудности «старой» квантовой теории Бора, В. Гейзенберг предложил матричную квантовую механику, в которой физические величины, в частности координаты и импульсы, представлялись матрицами. Однако два, можно сказать, неожиданных обстоятельства обусловили возможность применения, хотя бы частично, традиционной математики множеств к описанию квантовых систем.

Во-первых, уже в 1926 г. Э. Шредингер написал свое знаменитое уравнение (уравнение Шредингера), фактически показав, что квантовые величины реализуются обычными дифференциальными операторами на привычном по классической физике евклидовом гладком многообразии.

Во-вторых, оказалось, что и на очень малых расстояниях, до 10^{-14} см, вглубь атомного ядра и даже элементарных частиц, по крайней мере, до уровня партонной структуры, пространство, как и на макроскопических масштабах, остаётся евклидовым гладким многообразием. Из этого предположения исходят и все расчеты в квантовой теории поля, включая экспериментально подтверждённый лэмбовский сдвиг в квантовой электродинамике и эффект асимптотической свободы в квантовой калибровочной теории.

Хотя в те же 20-е годы, ещё до гипотезы В. Паули о существовании нейтрино (1930 г.) и открытия Дж. Чедвиком нейтрона (1932 г.), физики, изучающие атомные ядра, столкнулись с двумя проблемами. Во-первых, для некоторых ядер вроде бы нарушалось квантово-механическое правило связи спина и статистики, поскольку вместо неизвестного тогда нейтрона со спином ½ рассматривалась пара протона и электрона с целым суммарным спином. Во-вторых, наблюдавшаяся непрерывность энергетического спектра электронов при бета-распаде свидетельствовала, что в отдельных актах бета-распада некоторая часть энергии ядерного превращения как бы «теряется». Соответственно, возникли идеи, что уже внутри ядра физический мир кардинально меняется. В частности, Н. Бор предположил, что электроны, попадая в ядра, «теряют свою индивидуальность» и свой спин, а закон сохранения энергии выполняется только статистически. Более того, В. А. Амбарцумяном и Д. Д. Иваненко в 1930 г. была высказана гипотеза

о существенном изменении геометрической структуры пространства-времени на малых расстояниях, которое, возможно, становится дискретным.

И всё-таки, спустя уже почти 100 лет, удовлетворительная математическая формулировка квантовой теории даже в её основах отсутствует. Напрашивается вывод, что имеющаяся математика множеств всё же не вполне адекватна для описания квантовых систем (см. *7.1. Заблуждение Дирака*). Лет двадцать назад активизировались попытки разработать новую «квантовую» логику: некоммутативную, недистрибутивную, с многозначной высказывательной функцией и т. п. Однако проблема оказалась не в выборе новой системы аксиом, а в том, чтобы эта система вела к развернутой математической теории. Это пока не удаётся.

Почему же созданная человечеством математика оказалась содержательной? Потому что перед человеком был уже готовый богатый внешний мир, и он просто следовал его реалиям, строя свою математику. Фигурально говоря, он решал задачу, заведомо имевшую решение, которое просто надо было записать.

Однако трудности возникли уже в самой этой математике и опять же при выходе за рамки эмпирических представлений.

Во-первых, оказалось, что теория множеств допускает разные аксиоматизации. Так, обширная дискуссия развернулась по *аксиоме выбора* Цермело в 1904 г., утверждение которой выглядит вполне естественным.

> **Для каждого семейства непустых непересекающихся множеств существует множество, имеющее один и только один общий элемент с каждым множеством из этого семейства.**

В начале XX века такая неоднозначность математической теории представлялась недопустимой, поскольку до того математические объекты вводились вместе с определенными, казалось бы, неотъемлемыми свойствами. И только, пожалуй, становление функционального анализа в 20-е годы побудило математиков признать, что выделенных (канонических) свойств может не быть. Например, есть несколько «естественных» топологий для рациональных чисел, разные меры на числовой прямой, различные дифференцируемые структуры на 4-мерном топологическом евклидовом пространстве и т. д. [*Бурбаки, 1963*].

Во-вторых, обнаружилось, что теория множеств Кантора приводит к парадоксам (антиномиям), из которых наиболее известны антиномии Кантора (1899 г.) и Рассела (1901 г.). Суть их состоит в том, что не всё, составленное из элементов, является множеством, а именно, все множества как элементы не образуют множество.

Парадокс Кантора гласит, что «*не существует максимального кардинального числа*». Действительно, пусть оно существует и равно λ. Тогда по теореме Кантора $2^{\lambda} > \lambda$. Эквивалентно можно утверждать, что не суще-

URSS

ствует множества всех множеств, поскольку множество его подмножеств имело бы большую мощность.

Парадокс Рассела состоит в следующем.

> **«Пусть *K* — множество всех множеств, которые не содержат себя в качестве своего элемента. Содержит ли *K* само себя в качестве элемента? Если предположить, что содержит, то мы получаем противоречие с „Не содержат себя в качестве своего элемента". Если предположить, что *K* не содержит себя как элемент, то вновь возникает противоречие, ведь *K* — множество всех множеств, которые не содержат себя в качестве своего элемента, а значит должно содержать все возможные элементы, включая и себя».**

Парадокс Рассела тоже ведет к невозможности существования множества всех множеств, поскольку оно заведомо включало бы подмножество K всех множеств, которые не содержат себя в качестве своего элемента. Следует заметить, что если принять *аксиому регулярности*, которая входит и в аксиоматику Цермело—Френкеля, и в аксиоматику фон Неймана—Бернайса—Гёделя, то K в парадоксе Рассела и есть множество всех множеств, поскольку согласно этой аксиоме «*ни одно множество не содержит себя в качестве элемента*».

В-третьих, встал вопрос вообще о непротиворечивости аксиоматических систем. Оказалось, что согласно теоремам Гёделя о неполноте нельзя доказать непротиворечивость такой аксиоматической системы, по крайней мере, в рамках самой этой системы (см. *6.3. Теоремы Гёделя о неполноте*).

Развернувшаяся вокруг антиномий полемика стимулировала разработку аксиоматики теории множеств, хотя её аксиомы тоже основаны на эмпирическом опыте. Первую аксиоматику теории множеств, как уже отмечалось, предложил Эрнст Цермело в 1908 г. В настоящее время существуют различные аксиоматические системы теории множеств. Из них наиболее известны системы Цермело—Френкеля и фон Неймана—Бернайса—Гёделя, поскольку они приводят к наиболее содержательным теориям [*Френкель*].

Первичными понятиями в *аксиоматике Цермело—Френкеля* являются «множество» и $\in$ («принадлежность множеству»). Однако аксиома замены в этой системе фактически представляет собой бесконечное число аксиом для каждой высказывательной функции. Аксиоматические системы, в которых аксиома замены вводится в виде схемы, зависящей от произвольной высказывательной функции, именуются *аксиоматиками типа Цермело—Френкеля*, а если вместо аксиома замены принимается аксиома выделения также в виде схемы, то такие системы называются *типа Цермело*.

В математической физике главным образом используется *аксиоматика фон Неймана—Бернайса—Гёделя*, на которой, в частности, базиру-

URSS

ется теория категорий (см. *Дополнение II. Категория праспиноров*). Она является расширением системы Цермело—Френкеля с аксиомой выбора и вводит новый первичный объект — *класс*. Всякое множество является классом, и класс — это или множество, или *собственный класс*. В отличие от множества, собственный класс не может быть элементом какого-либо класса, и он биективен универсуму фон Неймана.

Универсум фон Неймана V представляет собой явную (конструктивно построенную) модель собственного класса. Его элементами являются правильные (well-founded) множества. Однако в предположении аксиома регулярности, например, в аксиоматике фон Неймана—Бернайса—Гёделя, всякое множество оказывается правильным, и V — собственный *класс всех множеств*. Так мы и будем его в этой книге трактовать, называя *универсумом всех множеств*.

В такой интерпретации элементы $s=[S]$ универсума всех множеств V представляют множества S, и на них определена структура булевой алгебры с операциями суммы (симметрической разности множеств) $[S]+[S']=[(S\cup S')-(S\cap S')]$ и умножения (пересечения множеств) $[S][S']=[S\cap S']$, а также отношение порядка $[S]\le[S']$ — включения множеств $S\subseteq S'$). Рассмотрим класс $W\subset V$, образованный всеми максимальными элементами V по отношению порядка $\le$, то есть такими, что, если $s\le s'$, то $s=s'$. Тем самым, он канонически выделяется в V. Это — *класс всех одноточечных множеств*. Он, очевидно, не замкнут относительно операции сложения булевой алгебры на V, но инвариантен относительно операции умножения так, что для всех $s\in V$ и $w\in W$ имеем $sw=w$ или $sw=[\{\}]$, где $[\{\}]$ — элемент V, представляющий пустое множество $\{\}$. Класс W — собственный, поскольку существует вложение $\gamma: s\to[\{s\}]$ класса V в W. Более того, это вложение — биекция, так как по самому построению универсума фон Неймана V для всякого элемента $w\in W$ найдется подмножество $S\subset V$, такое что $w=[\{[S]\}]$ [*Jech*]. В частности, имеет место вложение $w\to[\{w\}]$ самого класса W в себя, но $w\ne[\{w\}]$ в силу аксиомы регулярности. Обратно, сопоставим каждому элементу $w=[\{x_w\}]\in W$ элемент x_w, из которого состоит множество $\{x_w\}$, представляемое элементом $w=[\{x_w\}]$. Такие элементы x_w, $w\in W$, образуют собственный класс $U=\bigcup\limits_{w\in W}\{x_w\}$. Мы имеем его каноническое вложение $\pi: x_w\to w$ на класс W в V и биекцию $\gamma^{-1}\circ\pi$ на V. Поскольку W — класс одноточечных множеств, всякое множество является подмножеством U. Поэтому назовем класс U *абсолютным универсумом*. В частности, вместе с U всякое множество $X\subset U$ допускает канониче-

ское вложение $\pi : x \to [\{x\}]$ на подмножество $\{X\} = \bigcup_{x \in X} \{[\{x\}]\} \subset V$ универсума всех множеств V.

Упомянем ещё один собственный класс — *класс всех кардинальных чисел*. Он примечателен тем, что кардинальные числа линейно упорядочены, и тем самым, всякое множество может быть линейно упорядочено, что, впрочем, было доказано Цермело ещё в 1904 г. Однако до сих пор остаётся неразрешимой *гипотеза континуума*, что следующим за каждым кардинальным числом λ идет 2^{λ}.

Следует заметить, что, в отличие от аксиоматики Цермело—Френкеля, система фон Неймана—Бернайса—Гёделя является конечно аксиоматизируемой.

Как уже отмечалось, принципиально неразрешимой является проблема непротиворечивости этих аксиоматических систем. Единственно, можно показать, что если аксиоматическая система Цермело—Френкеля непротиворечива, то таковой же будет и аксиоматическая система фон Неймана—Бернайса—Гёделя.

6.2. Многовариантность и неполнота логики

Не претендуя на максимальную общность и имея в виду проблему познания, мы определим *логику* как науку, предметом которой является абстрактное мышление суждениями, то есть логическое мышление как структура (см. *3.7. Мышление суждениями*). Хотя это не исключает рассмотрения в частностях других форм мышления, в том числе образного, когда абстрактное понятие может быть представлено своим чувственным примером (неформальная логика), или абстрактного мышления, когда какие-то понятия имеют невербальные знаки (символическая логика).

Как и математика, логика берет своё начало в Древней Греции как опыт корректного логического мышления по определенным правилам, позволявшим из истинных суждений получать истинные (Парменид, Зенон, Аристотель и перипатетики, мегарская и стоическая школы) [*Бурбаки, 1963*]. Были систематизированы логические приемы, так что всякое корректное рассуждение можно было свести к небольшому числу неизменных правил, независимых от смысла рассуждения. Более того, были заложены основания исчисления на формальных суждениях — предвосхитившего современную формальную логику. Ключевой для греческой логики была концепция истины, как в позитивистском значении, так и в формальном смысле, когда два взаимоисключающих суждения не могут считаться истинными (см. *5.3. Концепция истины*). Критерием такой формальной истинности служит условие непротиворечивость

URSS

В дальнейшем мы ограничим наше внимание формальной логикой, не затрагивая неформальную логику, диалектическую логику и другие варианты *«содержательной» логики*, учитывающие смысл суждений и составляющих их понятий. Именно **формальная логика как исчисление на неопределенных суждениях стала универсальной методологией науки**.

Современная формальная логика зародилась в XVII в связи с развитием алгебры, когда обнаружилась аналогия между алгеброй и логикой как исчислениями на абстрактных объектах (П. Эригон, Лейбниц). Однако она получила свое развитие только в XIX веке, трансформировавшись в раздел математики (Дж. Буль, К. Пирс, Э. Шредер, Г. Фреге и др.).

Термин «формальная логика» восходит к Аристотелю. **Предметом *формальной логики* служат формы логического мышления, когда полностью игнорируется смысл суждений и составляющих их понятий.** При этом, сами эти формы являются продуктом осмысления и абстрагирования обыденного языкового мышления на естественном языке (*неформальная логика*). Кант противопоставлял формальной логике (в «Критике чистого разума» она названа «общей») содержательную *трансцендентальную логику*, составившую его учение «о чистых правилах и понятиях рассудка, которые априори определяют наш опыт». В противоположность ему, формалисты (представители логицизма, оформившегося на Женевском конгрессе 1904 г.) предполагали дать обоснование математическому знанию (и, возможно, в перспективе всему естествознанию) в рамках одной только формальной логики, считая достаточным формальное понятие истинности, перенесенное из естественного языка (Л. Кутюра, А. Лаланд, Б. Рассел, Д. Гильберт).

Мышление суждениями является вариантом знакового мышления (см. *3.7. Мышление суждениями*), и формальная логика — это частность *символической логики*, когда знаки понятий составляют некий формальный язык. Например, знаками понятий, возможно, образующих контент сознания разумного Океана в «Солярис» Лема, как уже отмечалось, могут быть тополого-алгебраические характеристики конструкций, составляющих значения этих понятий. Ещё более широко можно рассматривать вообще формальные системы, если на их символах и формулах определена высказывательная функция (см. *6.3. Теоремы Гёделя о неполноте*). Именно это отличает логику от иных дисциплин, также имеющих дело с формой, например, лингвистики.

Имея своими объектами корректно определенные формальные системы, формальная логика становится разделом математики — *математической логикой*. **Предметом математической логики являются формальные системы, где связками выступают логические знаки (операции): отрицание $\neg$ и импликация $\rightarrow$, и определена высказывательная функция, не обязательно двузначная.** Они называются

логическими системами или, просто, логиками. Приведем некоторые их характеристики (см. *6.3. Теоремы Гёделя о неполноте*).

- Логическая система именуется разрешимой, когда существует алгоритм, позволяющий для любой формулы за конечное число шагов определить, является она выводимой или нет.
- Логика считается непротиворечивой, если ни одна формула в ней не является выводимой вместе с её отрицанием.
- Логическая система называется полной, если для всякой формулы в ней выводима либо она сама, либо её отрицание.

Базовым примером логической системы служит логика суждений (высказываний), непосредственно абстрагирующая неформальную логику и наследующая её основные правила и законы, такие как уже упоминавшийся закон противоречия, закон силлогизма, закон исключения третьего и др. [*Куратовский, 1970*]. Логика суждений разрешима, непротиворечива и полна. Логика, для которой справедливы законы логики суждений, именуется классической. Сама логика суждений представляет собой классическую логику нулевого порядка. Выделяют классические логики первого, второго и высшего порядков.

Именно классические логики составляют методологию современной науки. Вместе с логикой суждений они в своих основах апеллируют к неформальной логике и эмпирическому опыту человека. Поэтому основанная на них методология научного познания ограничена и не универсальна. Для иллюстрации остановлюсь на некоторых основных операциях логики суждений.

Во-первых, всякое суждение в ней характеризуется значением высказывательной функции или как истинное, или как ложное.

Однако даже для формулировки классической механики точечных масс таких «да» и «нет» недостаточно. Например, ничего нельзя сказать о скорости тела в момент его упругого столкновения с препятствием. Поэтому задают два уравнения с разными начальными условиями, одно из которых описывает движение тела до упругого удара, а другое — после. Другой пример: в упругой среде с дислокациями вектор смещения принципиально не определен и имеет место трансляционная калибровочная инвариантность. А вот волновой вектор в точках каустики волнового фронта хотя и определен, но неоднозначен. В терминах математической логики всё это — случаи суждений, для которых не существует логических значений «истинное» или «ложное».

Другой вариант — это суждения, о которых наверняка известно, что они или истинны, или ложны, но каковы именно, установить нельзя. Например, всякое топологическое пространство характеризуется набором так называемых гомотопических групп. Однако конкретно определить их удалось только для очень узкого класса пространств: сфер, проективных про-

URSS

странств, классических групп и некоторых других. Поэтому в общем случае, если дано какое-то топологическое пространство, то всегда существует некое утверждение о его гомотопических группах, справедливость которого установить невозможно. Гомотопические группы задействованы в ряде теоретических моделей (см. *7.2. Материя как иерархия структур*). В результате описываемые этими моделями физические системы остаются если не принципиально, то фактически недоопределенными. Это существенно сдерживает применение топологических методов в теоретической физике.

Во-вторых, в логике ~~системе~~ всякому суждению однозначно сопоставляется суждение, являющееся его отрицанием. Однако в теоретической физике то или иное утверждение очень часто допускает несколько разных отрицаний, или его отрицание бессодержательно. Например, тезис, что «данная элементарная частица имеет ненулевой изоспин», допускает два разных отрицания: первое — что «у частицы нулевой изоспин» и второе — что она вообще не характеризуется изоспином. Это не одно и то же. В частности, мезон π^0 имеет нулевой изоспин, а у электрона нет изоспина.

В-третьих, множество суждений логической системы частично упорядочено операцией импликации $\rightarrow$ («посылка-следствие»). В классической физике причинно-следственная упорядоченность предполагает временную упорядоченность, хотя, конечно, не наоборот. В частности, это означает, что динамика физической системы может описываться как эволюция во времени. Уравнения движения такой системы должны допускать постановку так называемой *задачи Коши*, то есть решение этих уравнений однозначно определяется заданием начальных данных в какой-то момент времени. Это не всегда возможно. Знаменитая *теорема Коши—Ковалевской* устанавливает достаточные условия того, что задача Коши может быть сформулирована хотя бы локально.

Примером служат уравнения Эйнштейна. Если фиксирована гиперповерхность с начальными данными Коши (их задание — тоже проблема), то существует аналитическое решение уравнений Эйнштейна в некоторой окрестности этой гиперповерхности. Чтобы продолжить это решение за пределы этой окрестности, нужно опять выбирать начальную гиперповерхность с данными Коши, и т. д. Поэтому на практике задача Коши для уравнений Эйнштейна почти никогда не ставится, а их решения фактически подбираются исходя из тех или иных соображений симметрии, физического смысла правой части уравнений и т. д.

В квантовой механике для уравнения Шредингера ставится не задача Коши с начальными данными, а задача на собственные значения, и поэтому вообще непонятно, как формулировать условие причинности. Квантовая система из одного состояния переходит в другое состояние, но пути перехода не предопределены. Например, электрон в атоме водорода переходит с одного уровня на другой и излучает — это хорошо описано, но процесс перехода не известен, если даже вообще можно говорить о каком-то процессе.

URSS

В-четвертых, в логике вводятся операции конъюнкции $\wedge$ (логического произведения «и») и дизъюнкции $\vee$ (логической суммы «или») суждений. Однако, например, в квантовой теории определить логическое произведение суждений, касающихся некоммутирующих операторов, не всегда возможно.

Таким образом, **даже базовые логические операции плохо адаптируются к научному познанию.**

Более того, как уже отмечалось,

> **сама формальная логика, оказалась внутренне несогласованной, а именно, логические системы в общем не могут удовлетворить тем условиям, которые им предъявляются.**

Хотя логика суждений — классическая логика нулевого порядка — разрешима, непротиворечива и полна, проблемы возникают уже с классическими логиками первого порядка, начиная с арифметики. Уже многократно упоминавшиеся первая и вторая теоремы Гёделя о неполноте установили следующее (см. *6.3. Теоремы Гёделя о неполноте*).

1. Во всякой содержащей арифметику логике первого порядка, если она непротиворечива, существует неразрешимое суждение, то есть ни само это суждение, ни его отрицание не являются выводимыми в этой системе.
2. В арифметике натуральных чисел таким неразрешимым суждением является утверждение о непротиворечивости самой этой арифметики, то есть доказательство её непротиворечивости невозможно в рамках самой арифметики.

Что касается классических логик второго порядка, то они, например, не удовлетворяют условиям полноты, компактности, счётности модели.

Всё вышесказанное стимулировало разнообразные модификации классической логики. *Неклассическая логика*, соответственно, есть логика, в которой один или несколько законов классической логики не выполняются. Перечислим некоторые наиболее разрабатываемые примеры неклассической логики: *интуиционистская логика* (отказ от закона исключения третьего), *некоммутативная логика* (отказ от коммутативности конъюнкции и дизъюнкции), *линейная логика* (отказ от идемпотентности конъюнкции и дизъюнкции), *квантовая логика* (отказ от дистрибутивности), *многозначная логика* с высказывательной функцией, принимающей более двух значений.

6.3. Теоремы Гёделя о неполноте

Теоремы Гёделя о неполноте, как уже отмечалось, относятся к классической формальной логике первого порядка. Предметом формальной логики являются формальные системы [*Шенфилд*].

URSS

Формальная система (*теория*) считается определенной, если имеет место следующее.

- Фиксировано не более чем счётное множество *символов*, например, $a, b, c, \ldots$. Их конечные последовательности называются *выражениями*. В частности, сами символы — это тоже выражения. Разные выражения могут содержать один и тот же набор символов. Так, в логике суждений a и $\neg a$ («отрицание a») — это два разных выражения. Поэтому выражения образуются с использованием некоторого конечного числа *знаков* (*связок*).
- Установлено подмножество выражений, именуемых *формулами*. Обычно заданы правила образования выражений, которые являются формулами.
- Выделено подмножество формул, называемых *аксиомами*.
- Задано конечное множество *правил вывода,* устанавливающих отношение «быть следствием» на множестве формул.

Если формула при замене данных символов на любые другие остаётся формулой, для её записи применяются *метасимволы*, например, $A, B, C, \ldots$, с возможностью подстановки вместо них любых символов. Введение метасимволов предполагает использование *квантора всеобщности* $\forall$. Поэтому выражения с метасимволами — это, строго говоря, не формулы, а *схемы формул*.

Совокупность символов и формул (или символов и знаков) определяет **язык формальной системы.** Если число аксиом конечно, то теория называется *конечно аксиоматизируемой*. Если множество аксиом бесконечно, то, как правило, оно задаётся с помощью конечного числа *схем аксиом*. **Мы воздержимся от общего определения схемы аксиом, поскольку в дальнейшем будет востребована только схема индукции в арифметике Пеано. Другая известная схема аксиом — схема преобразования в теории множеств.**

Выводом называется последовательность формул такая, что всякий её элемент — это либо аксиома, либо следствие каких-либо предыдущих формул по *правилам вывода*. Формула именуется *теоремой*, если существует вывод, в котором она — последняя. В частности, всякая аксиома является теоремой, вывод которой сводится к ней самой. Система считается *противоречивой*, если всякая её формула оказывается теоремой. Система именуется *разрешимой*, когда существует алгоритм, позволяющий для любой формулы за конечное число шагов определить, является она теоремой или нет.

Частным случаем формальных систем являются *логические системы* (или, как они выше назывались, *логики*), где связками выступают логические знаки (*операции*), из которых базовыми могут служить *отрицание* $\neg$ и *импликация* $\rightarrow$. Их композиции определяют связки: $\wedge$ — *конъюнкцию*,

URSS

$\vee$ — дизъюнкцию и $\leftrightarrow$ — *эквивалентность*. Логическая система считается *непротиворечивой*, если ни одна формула в ней не является выводимой вместе с её отрицанием. Она называется *полной*, если для всякой формулы в ней выводима либо она сама, либо её отрицание.

Примером логики является *логика суждений* (высказываний). Формулы в ней образуются посредством вышеупомянутых логических знаков, а также двух технических знаков — левой и правой скобок. Поэтому символы логики суждений интерпретируются как формальные суждения. Они считаются формулами, и, если F и G — формулы, то выражения $\neg F$, $F \wedge G$, $F \vee G$, $F \to G$ и $F \leftrightarrow G$ — тоже формулы. Логика суждений характеризуется одиннадцатью аксиомами и одним правилом вывода *modus ponens*, таким что если F и $F \to G$ — теоремы, то G — тоже теорема. **Логика суждений разрешима, непротиворечива и полна.**

Говорят, что задана модель логики суждений, если на множестве символов определена *высказывательная функция* со значениями «истинно» и «ложно». Эта функция однозначно распространяется на все формулы так, что все теоремы (выводимые формулы) являются истинными.

Логика, для которой справедливы законы логики суждений, называется *классической*. Сама **логика суждений представляет собой классическую логику нулевого порядка**. Выделяют *логики первого, второго и высшего порядков*. Они характеризуются тем, что переменными символами логики порядка n служат символы логики порядка $n-1$.

Классическая *логика первого порядка* определяется на абстрактном (не фиксированном) *несущем множестве* X, элементы которого называются *переменными*. Символами логики первого порядка служат:

- n-арные X-значные функции $f : X^n \to X$, именуемые *функциональными символами*, к которым относятся и сами переменные $f = x$, именуемые *символами переменных*;
- предикаты — n-арные отношения $P \subseteq X^n$, то есть n-арные функции на X со значениями 0 или 1, называемые *предикатными символами*.

Допускаются 0-арные предикатные и функциональные символы. Последние именуются *константами* и, например. представляют собой выделенные элементы X. Знаками логики первого порядка являются логические и технические знаки (с добавлением запятой) логики высказываний, а также кванторы всеобщности $\forall$ и *квантора существования* $\exists$. Формулы логики первого порядка определяются следующим образом.

- *Терминами* называются символы переменных, функциональные символы, если символы переменных трактуются как термины, и композиции функциональных символов $f(f_1,...,f_n)$, где $f_1,...,f_n$ рассматриваются как термины.

URSS

- *Атом* — это предикатный символ $P(t_1,...,t_n)$ на множестве терминов.
- Формулами являются атомы и выражения из формул $\neg F$, $F \wedge G$, $F \vee G$, $F \to G$ и $F \leftrightarrow G$, как в логике высказываний, а также $\forall xF$ и $\exists xF$, где x — символ переменной.

В логике первого порядка выделяется особый класс формул без свободных переменных. Переменная x в формуле F называется *свободной*, если F от нее зависит, но не в составе кванторов $\forall xG$ или $\exists xG$. Формула без свободных переменных называется *предложением*.

Аксиомы классической логики первого порядка включают аксиомы логики высказываний и две аксиомы подстановки терма вместо переменной $\forall xP(x) \to P(t)$ и $P(t) \to \exists xP(x)$. Правило вывода *modus ponens* логики высказываний дополняется *правилом обобщения*, устанавливающим, что, если $P(t)$ — утверждение, то $\forall xP(x)$ — тоже утверждение.

Говорят, что выбрана *модель* логики первого порядка, если несущее множество X фиксировано, а функциональные символы на нем определяются в явной виде. В этом случае формулы логики первого порядка наделяются высказывательными значениями «истинное» или «ложное». Формула называется *выполнимой*, если хотя бы в одной модели она истинна, и *общезначимой*, если она истинна во всех моделях. В частности, нетрудно показать, что любое предложение, или его отрицание является общезначимым, а также, что всякая выводимая формула — общезначима. Обратно, известная ***теореме Гёделя о полноте*** **устанавливает, что общезначимая формула выводима**. Таким образом, в логике первого порядка формула общезначима тогда и только тогда, когда она выводима. В частности, всякое предложение, или его отрицание, будучи общезначимым, является выводимым. В этом смысле **логика первого порядка ограничено полна**, поскольку не для любой формулы в ней сама эта формула, или её отрицание обязательно выводима.

Логика первого порядка обладает *свойством компактности*: если некоторое множество формул не выполнимо, то невыполнимо и его любое конечное подмножество. С другой стороны, согласно *теореме Лёвенгейма—Скулема*, если множество формул имеет модель, то оно также имеет модель на несущем множестве не более чем счётной мощности.

Примером классической логики первого порядка служит *формальная арифметика*. В силу вышеупомянутой теоремы Лёвенгейма—Скулема эта система допускает модель на счётном множестве $X = N$, и в такой модели представляет собой стандартную арифметику натуральных чисел (*арифметику Пеано*).

Она характеризуется переменной $x \in N$, константой 0 и двумя бинарными функциональными символами — сложением и умножением — на терминах 0, x и $\neg x$. Семейство аксиом включает аксиомы логики

высказываний, аксиомы, наделяющие N структурой линейно упорядоченного множества с минимальным элементом 1, известные правила сложения и умножения, а также *аксиома индукции*:

> **Если какое-либо предложение доказано для 1 (база индукции) и если из допущения, что оно верно для натурального числа x вытекает, что оно верно для следующего за x натурального числа, то это предложение верно для всех натуральных чисел.**

Однако это утверждение является аксиомой логики второго порядка, поскольку в нем предикатный символ («предложение справедливо для натурального числа x») выступает как переменная. Запись аксиомы индукции в рамках логики первого порядка приводит к счётному набору аксиом, воспроизводящих приведенное утверждение для каждого натурального числа отдельно. Таким образом, **арифметика Пеано не является конечно аксиоматизируемой**.

Как было показано, арифметика натуральных чисел является непротиворечивой, но неполной. Последнее следует из знаменитой *первой теоремы Гёделя о неполноте* (1931 г.). Она утверждает, что, **если формальная арифметика непротиворечива, то она неполна**, то есть в ней есть формула, такая что ни она сама, ни её отрицание не выводимы, но в интерпретации арифметики натуральных чисел она истинна. *Вторая теорема Гёделя о неполноте* устанавливает, что **такой формулой является утверждении непротиворечивости самой формальной арифметики**, то есть эта непротиворечивость не может быть доказана в рамках формальной арифметики.

Первая теорема Гёделя о неполноте распространяется на логики первого порядка, являющиеся конечно аксиоматизируемым расширением формальной арифметики [*Успенский*].

URSS

Закон Ньютона и в другой галактике — закон, хотя и не Ньютона.

ГЛАВА 7

Кризис фундаментальной физики

Рассуждая о том, что человеческое сознание, а следовательно и человеческая наука не универсальны и антропоморфны, следует задаться вопросом о том, какая из наших наук является универсальной по своему предмету, то есть значимой для любой разумной цивилизации во Вселенной. По всей видимости, это — фундаментальная физика, включая квантовую химию и обеспечивающие разделы математики. Почему бы сюда не отнести в целом фундаментальную математику? Потому что многие её конструкции — произвольное порождение человеческого разума.

Например, ключевым понятием алгебраической топологии является уже упоминавшаяся *гомотопическая эквивалентность* топологических пространств, когда они, наглядно говоря, могут быть непрерывно деформированы друг в друга. Это — не универсальное понятие. Более того, классы гомотопически эквивалентных пространств в нашей математике характеризуются *гомотопическими группами* — классами гомотопных отображений многомерных сфер. А почему именно сфер? Люди, просто, так выбрали, хотя, как уже отмечалось, эти группы можно получить только для весьма ограниченного класса пространств. И таких примеров очень много.

Таким образом, именно физика является наиболее фундаментальной из наук, развиваемых человечеством. Физический закон везде во Вселенной — закон, правда, за исключением, возможно, ранней Вселенной.

Конечно, содержание фундаментальной физики, то есть то, что следует к ней относить, со временем менялось. В XIX веке, пожалуй, вся физика была фундаментальной. Но потом многие её разделы, по мере исчерпания неизвестного, переходили в разряд прикладной и технической наук. Например, физика полупроводников настолько полно изучена (четыре Нобелевские премии 1956, 1973, 2000 и 2009 гг.), что уже давно, с 70-х годов, является прикладной и технологической наукой, и последняя из упомянутых выше Нобелевских премий «за изобретение полупроводниковой схемы

для регистрации изображений — ПЗС-сенсора» (Уиллард Бойл, Джордж Смит) тому свидетельство. В противоположность полупроводникам, сколько-нибудь исчерпывающей теории ядерных сил, как уже отмечалось, так и не удалось построить (всего две Нобелевские премии 1963 и 1975 гг. за весьма частные результаты), но после создания атомного реактора и атомной бомбы ядерная физика уже в 50-е годы прошлого века стала в основном технической, более того, промышленной и оборонной отраслью, для которой оказались вполне достаточными феноменологические формулы и закономерности.

Последние полвека к *фундаментальной физике* неизменно относят: теоретическую физику, квантовую физику, физику элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий (электрослабого, сильного и гравитационного), астрофизику и космологию.

Однако к началу XXI века пришло осознание того, что за всё это время и более (квантовой теории уже 100 лет) не удалось исчерпывающе сформулировать ни основы квантовой механики, ни квантовой теории поля, ни даже классической механики. Правда, исключение составляет классическая теория поля. Таким образом, налицо кризис фундаментальной физики.

7.1. Заблуждение Дирака

Как уже отмечалось, среди физиков долгое время был популярен *тезис Дирака*:

> **«Физический закон должен обладать математической красотой»,**

написанный им мелом на стене кабинета Д. Д. Иваненко 4-58 на физфаке МГУ в 1956 г. Но Дирак заблуждался, и вместе с ним все мы — теоретики второй половины XX века. Математически красивой теории не получилось, да и, вообще, никакой сколько-нибудь исчерпывающей теории не получилось.

Проблемы остались даже с классической нерелятивистской механикой. Автономная гамильтонова механика адекватно описывается на симплектических и пуассоновых многообразий [*Liberman; Сарданашвили, 1998*]. Неавтономная лагранжева и гамильтонова механика исчерпывающе формулируется в геометрических терминах расслоений над осью времени $\boldsymbol{R}$ [*Giachetta, 2010; Сарданашвили, 1998*] (см. *Дополнение I. Нерелятивистская классическая механика: геометрическая формулировка*). Правда, лагранжев и гамильтонов формализмы не эквивалентны, например, для случая нерегулярных лагранжианов.

Однако не вся классическая механика — лагранжева или гамильтонова. Её уравнениями движения являются динамические уравнения вто-

URSS

рого порядка. Для правильного построения такого уравнения необходимо задать систему отсчета, тогда оно будет выражено через относительную скорость, относительное ускорение и силу — величины, имеющие реальный физический смысл. Поэтому базовым понятием классической механики является инерциальная система отсчета. Оно было введено в конце XIX века, а ранее, просто, ассоциировалось с *абсолютным пространством Ньютона*. Уже Дж. Беркли и Г. Лейбниц резко возражали против такого пространства как физического объекта, по отношению к которому определяется движение по инерции. Они настаивали на построении *«релятивной» механики* в терминах относительных расстояний, скоростей и ускорений и, в частности, не видели смысла в задаче одного тела. Известным критиком абсолютного пространства и принципа инерции в конце XIX века стал Эрнст Мах, полагавший, что инерция индуцируется всей материей космоса (*принцип Маха*) [*Мах*]. Как известно, идеи Маха влияли на Эйнштейна при построении им ОТО, которая оказалось, однако, немахианской. Релятивную механику продолжали позднее развивать, но без особого успеха.

Действительно, в рамках вышеупомянутой формулировки нерелятивистской механики на расслоении над $\boldsymbol{R}$ можно записать динамическое уравнение второго порядка в ковариантной форме для произвольной системы отсчета, задаваемой связностью на этом расслоении. Оно будет выражаться через относительные скорость и ускорение. Однако определение и вид относительного ускорения очень непростые, вопреки тезису Дирака [*Giachetta, 2010; Sardanashvily, arXiv: 0708.2998*]. При этом, для данного динамического уравнения можно ввести понятия *инерциальной системы отсчета*, если, будучи записанным в этой системе отсчета, динамическое уравнение принимает вид уравнения свободного движения, то есть относительное ускорение равно нулю. Но для другого динамического уравнения эта система отсчета уже не будет инерциальной.

Таким образом, в принципе **нет понятия универсальной, самой по себе, безотносительно уравнения движения, инерциальной системы отсчета**. Как следствие, нельзя определить физическую силу, обусловленную только физическим взаимодействием, исключив силы инерции. Более того, вообще не понятно, как строить динамические уравнения и лагранжианы классической механики, поскольку все известные правила ссылаются на инерциальную систему отсчета. В этом смысле,

> **так как классическая механика не определяет свои уравнения, она не является полной теорией.**

Главная проблема квантовой теории состоит в том, что **все сколько-нибудь реалистические квантовые модели в ней строятся путем квантования классических систем**. Хотя более естественным было бы деквантование квантовых систем для описания классических. При этом, мы

URSS

не можем разработать процедуру деквантования как обратную квантованию, поскольку **существует много неэквивалентных схем квантования**. Их многообразие обусловлено тем, что квантованию подлежат только линейные системы, то есть величины, образующие линейное пространство. Поэтому, если, например, в классической системе перейти нелинейным преобразованием к другим эквивалентным динамическим переменным, то эти две классические системы остаются эквивалентными, но их квантование будет неэквивалентным. Например, классический осциллятор или задача Кеплера — это вполне интегрируемые системы, эквивалентно описываемые как в своих естественных переменных, так и в переменных «действие—угол». Однако их квантование в тех и других переменных не эквивалентны друг другу [*Giachetta, 2005*] (см. *Дополнение I. Интегрируемые гамильтоновы системы*).

В настоящее время наиболее используемыми являются три схемы квантования: каноническое квантование, обобщенное на произвольные симплектические и пуассоновы многообразия в варианте геометрического квантования, алгебраическое квантование в рамках конструкции ГНС (Гельфанда—Наймарка—Сигала) и деформационное квантование, обобщающее произведение Мойла [*Giachetta, 2005; Сарданашвили, 1999*]. Упомянем также квантование Березина на келеровых многообразиях, которое более является деквантованием [*Giachetta, 2005*].

Геометрическое (*каноническое*) *квантование* сопоставляет алгебре Пуассона на симплектическом или пуассоновом многообразии алгебру дифференциальных операторов на сечениях комплексного линейного расслоения над этим многообразием так, что скобки Пуассона функций переходят в коммутатор этих операторов. Уравнение Шредингера — это каноническое квантование.

Деформационное квантование тоже квантует алгебру Пуассона функций на симплектическом многообразии, но посредством квантовой деформации скобок Пуассона в духе квантовых алгебр и групп.

В отличие от этих схем квантования алгебры Пуассона классических гамильтоновых системы, *алгебраическое квантование* описывает непосредственно квантовые системы. Однако оно практически не применяется к реалистическим моделям. Алгебраическое квантование основывается на так называемой *конструкции ГНС* (Гельфанда—Наймарка—Сигала) [*Giachetta, 2005; Сарданашвили, 1999*]. Она состоит в том, что если заданы A — инволютивная банахова алгебра с единицей, и непрерывная положительная форма f на A, то определено представление алгебры A в гильбертовом пространстве, каковым является фактор-пространство самой алгебры A по идеалу её элементов $a \in A$, таких что $f(aa^*) = 0$ [*Диксмье*]. В квантовых моделях A — это алгебра квантовых наблюдаемых, а f — функция их средних значений.

Конструкция ГНС была обобщена на ненормированные инволютивные топологические алгебры [*Хоружий*], что позволило применить её, например, к алгебрам канонических коммутационных соотношений, порождаемых ядерными пространствами, и даже в квантовой теории поля [*Giachetta, 2005; Сарданашвили, 1999*]. Однако в общем случае алгебры канонических коммутационных соотношений, если они не моделируемы над ядерными пространствами, не подпадают под конструкцию ГНС. Поэтому **методы канонического квантования и алгебраического квантования принципиально не согласуются**.

Однако, как уже отмечалось, главная «головная боль» современной теоретической физики — это квантовая теория поля. Отдельные её разделы, такие как квантовая электродинамика [*Ахиезер*], аксиоматическая квантовая теория [*Боголюбов*], пертурбативная квантовая теория в терминах функциональных интегралов [*Рамон*], сами по себе выглядят полновесно. Несомненным достижением квантовой теории поля стала квантовая теория калибровочных полей [*Славнов*]. Но общей математически корректной формулировки квантовой теории поля создать до сих пор не удалось. В частности, пертурбативная квантовая теория строится посредством так называемых функциональных интегралов, но они не являются какими-либо истинными мерами, а их свойства постулируются по аналогии с интегралами на конечномерных пространствах, чтобы воспроизводить фейнмановские диаграммы.

Не известна даже алгебра квантовых полей, если их, вообще, можно описывать алгеброй. Например, калибровочные поля, в том числе электромагнитное поле, образуют не линейное, а аффинное пространство. Его пополнение Соболева является гильбертовым пространством, а хотелось бы получить ядерное, чтобы иметь ядерную алгебру, к которой применима конструкция ГНС.

Ограничимся для простоты свободными *скалярными полями*, представляемыми пробными (быстро убывающими на бесконечности) функциями. Эти функции образуют ядерное пространство S, и алгебра свободных скалярных полей — это ядерная алгебра канонических коммутационных соотношений. Непрерывными формами на ней являются обобщенные функции, составляющие дуальное пространство S'. Применяя конструкцию ГНС, мы получаем исчерпывающее описание свободных квантовых скалярных полей с множеством их неэквивалентных состояний [*Giachetta, 2005; Сарданашвили, 1999*]. В отличие от свободных полей, взаимодействующие квантовые поля характеризуются тем, что они рождаются и исчезают в какие-то моменты времени. Такая система описывается хронологическими формами на пространстве S, но они не являются непрерывными. Однако, если перейти виковским поворотом к евклидовым полям, на них хронологические формы (евклидовы функции Грина) оказываются непрерывными (см. *Дополнение I. Квантовая теория поля: произво-*

дящий функционал как мера). Более того, они задаются производящим функционалом, который в силу известной теоремы Бохнера представляется некоторой мерой на пространстве обобщенных функций S'. Эта конструкция, казалось бы, закладывает хорошую математическую основу квантовой теории поля. Однако проблема состоит в том, что выписать эти меры в явном виде, за исключением гауссовых мер для полей без взаимодействия, невозможно. Кроме того, их свойства отличаются от тех, которые приняты для функциональных интегралов в вышеупомянутой пертурбативной квантовой теории поля. Например, не существует трансляционно инвариантной меры Лебега на S'.

И всё-таки, есть теория, которая в своём общем виде вполне удовлетворяет тезису Дирака. Это — классическая теория поля, формулируемая на языке расслоений, в которой **классические поля представляются сечениями гладких расслоений** [*Giachetta. 2009; Сарданашвили, 1996*] (см. *Дополнение I. Классическая теория поля: полная геометрическая формулировка*). Она включает классическую теорию калибровочных полей на ~~глад-~~ ~~ких~~ расслоениях и теорию гравитации на натуральных расслоениях.

Поскольку поля представляются сечениями расслоений, классическая теория поля строится как лагранжева теория на расслоениях. Стандартной математической техникой для формулировки такой теории являются многообразия струй сечений расслоений. Поскольку рассматривается лагранжев формализм произвольного конечного порядка, его удобно развивать на многообразии Фреше струй бесконечного порядка $\mathrm{J}^\infty Y$ расслоения $Y \to X$ из-за наличия операций, повышающих порядок. Он формулируется в алгебраических терминах вариационного бикомплекса, не апеллируя к вариационному принципу. На многообразии $\mathrm{J}^\infty Y$ вводится алгебра внешних дифференциальных форм как прямой предел алгебр внешних дифференциальных форм на многообразиях струй конечного порядка. На этой алгебре определяется так называемый вариационный бикомплекс, элементами которого являются лагранжианы L, а одним из операторов когранницы — вариационный оператор Эйлера—Лагранжа δL. Ядро этого оператора задаёт уравнение Эйлера—Лагранжа. Были определены когомологии вариационного бикомплекса, результатом чего является глобальная первая вариационная формула $dL = \delta L + d_H J$, из которой следует первая теорема Нётер. Построение лагранжевой теории поля предполагает рассмотрение лагранжевых систем как чётных, представляемых сечениями расслоений, так и нечётных грассмановых переменных. Поэтому лагранжев формализм в терминах вариационного бикомплекса был обобщен на грассмановы многообразия.

Однако эта теория тоже не является полной. Оказывается, что сформулировать вторую теорему Нётер и получить калибровочные симметрии лагранжевой системы можно только, если нетривиальные тождества Нётер

URSS

образуют проективный модуль конечного ранга. Правда, все известные полевые модели удовлетворяют этому условию.

Однако общая теория в согласии с тезисом Дирака может быть «математически красивой», а в природе реализуется её частный, весьма «корявый», вариант. И действительно, в теоретической физике с середины прошлого века доминировал принцип симметрии, что физическая теория должна строиться инвариантной относительно той или иной группы преобразований. Но в реальности оказалось, что едва ли ни все известные симметрии фундаментальных взаимодействий нарушены, и это нарушение носит принципиальный характер. Нарушена симметрия электрослабого взаимодействия. Хотя, вроде бы, пока остаётся точной цветная симметрия сильного взаимодействия. Возможно, в зоне взаимодействия частиц нарушается лоренцевская симметрия, поскольку, если рассматривать виковский поворот не только как технический прием, их импульсное пространство там — не минковское, а евклидово. А если симметрия нарушена, то лагранжиан модели может включать неинвариантные, весьма частные, компоненты, отсутствующие в общем лагранжиане теории.

Свидетельства такому нарушению симметрий первой дала уже упоминавшаяся объединенная теория электрослабых взаимодействий, подтверждённая открытием в 1983 г. промежуточных векторных бозонов, а в 2012–2013 гг. — и хиггсовского бозона [*Novaes*]. Причем, компоненты, ответственные за нарушение симметрии и обуславливающие механизм генерации массы частиц, были введены в лагранжиан модели, как говорится, «руками», вопреки стандартам построения инвариантной теории, но, тем не менее, оказались правильными. При этом, например, так называемый угол смешивания в этом лагранжиане имеет значение, можно сказать, какое-то случайное, ни из каких общих соображений не выводимое.

Что-то подобное может произойти и в теории гравитации. Гравитационные лагранжианы полагаются инвариантными относительно общих ковариантных преобразований. Однако пространство-время X, по ряду соображений, по-видимому, является некомпактным параллелизуемым многообразием, то есть касательное и ассоциированные с ним расслоения над X тривиальны [*Сарданашвили, Гравитация, 2011*]. С одной стороны, оно некомпактно, поскольку компактное пространство-время не может удовлетворить какому-нибудь, разумному принципу причинности [*Хокинг*]. Однако дираковская спинорная структура на некомпактном многообразии может существовать тогда и только тогда, когда это многообразие параллелизуемо. С другой стороны, если требовать выполнения принципа стабильной причинности, пространство-время должно быть глобально гиперболическим, то есть прямым произведением $X = R \times M$, где M — трехмерное многообразие. Но всякое ориентируемое трехмерное многообразие параллелизуемо, и, следовательно, X — параллелизуемо, без

апелляции к спинорной структуре. На параллелизуемом многообразии вполне можно допустить существование фоновой псевдоримановой метрики — фонового космологического гравитационного поля. Гравитационные модели с фоновой метрикой рассматривались [*Сарданашвили, Фоновая геометрия, 1998*]. Их лагранжиан не общековариантен, и потому не исключено, что содержит добавочные «некрасивые» необщековариантные слагаемые, отсутствующие в гравитационном лагранжиане общего вида. Они, в частности, могут приводить к эффектам типа «тёмной» материи, «тёмной» энергии, массы гравитационного поля и др.

7.2. Материя как иерархия структур

Мы определили ипостась существование бытия материального как структуру с носителем, то есть контент этой структуры не представим её элементами, но вполне может быть элементами некоторой другой структуры, но тоже с носителем, который опять же может быть представлен элементами некоторой другой структуры, и т. д. Если теперь говорить о материи, вряд ли такая иерархия структур бесконечна. Означает ли это, что у материи есть первичный носитель? Не обязательно.

Во-первых, понятие структуры было введено на множествах, а например, для квантовых систем встает вопрос о применимости к ним математики на множествах (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*).

Во-вторых, даже в рамках теории множеств можно отказаться от аксиомы регулярности и допустить, что множество может содержать себя как элемент, разрешая неправильные множества (П. Акзель) и т. д.

По крайней мере, современная теоретическая физика представляет физическую материю именно как иерархию структур. Сейчас, с теоретико-математической точки зрения, **все известные фундаментальные физические объекты — это та или иная структура, контент которой составляют элементы некоторой другой структуры**.

Например, классическое поле, определяемое как сечение расслоения, является морфизмом и тем самым структурой, называемой геометрической. Очевидно, что квантовые операторы как элементы некоторой алгебры являются алгебраической структурой.

Более того, согласно уже упоминавшейся конструкции ГНС, гильбертово пространство состояний, на котором реализуется представление алгебры квантовых наблюдаемых, состоит из классов эквивалентности элементов этой алгебры, отличающихся друг от друга её элементами a, такими что среднее значение aa^* равно нулю, то есть тоже оказывается множеством элементов алгебраической структуры (см. *7.1. Заблуждение Дирака*).

А вот точечная масса в классической механике не является элементом какой-либо структуры. Однако в современных объединенных моделях фундаментальных взаимодействий квантовое поле приобретает массу в результате взаимодействия с хиггсовским вакуумом [*Novaes*], то есть получается, что масса — это производная характеристика двух структур. Таким образом, вещество, имеющее массу, как форма материи перестает быть фундаментальным понятием. Например, частица и античастица, аннигилируя, превращаются в фотоны.

Если вещества как такового нет, а классические и квантовые поля — это структуры, материя, конечно, не исчезает, но становится несколько иллюзорной. Это скорее уже материальная структура. Причем, содержательное в этом понятии — структура, а материальное — характеристика её существования.

И всё-таки, что является носителем структуры в физическом мире? Существует ли вообще такой носитель?

Например, в 70-е годы Д. Д. Иваненко и я предложили так называемую модель праспиноров, в которой простейшие логические высказывания «да» и «нет» сопоставлялись с образующими элементами групп Кокстера, описывающими как пространственно-временные, так и внутренние симметрии (см. *Дополнение II. Категория праспиноров*). Дело в том, что конечные группы Кокстера представляют собой известные группы Вейля отражений алгебр Ли и весовых диаграмм их конечномерных представлений, то есть конечные группы Кокстера реализуют свои представления на тех же мультиплетах частиц, что и обычные группы симметрий. С другой стороны, пространственно-временные группы поворотов и трансляций — это тоже группы Кокстера, порождаемые отражениями относительно всевозможных гиперповерхностей. Более того, в качестве топологической модели частиц предлагались пространства с группами симметрий Кокстера в качестве гомотопических групп. Таким образом, в нашей модели отождествлялись простейшие физическая, логическая и даже топологическая структуры. В том или ином аспекте подобные простейшие объекты рассматривали также К. Вейцзекер, Д. Финкельштейн, Дж. Уилер и др. Однако эта модель пока так и не получила развития, поскольку её не удалось связать с какой-либо содержательной геометрической теорией.

7.3. Новая методология физики

Ещё в начале XX века наблюдение и рассуждение как методология научного познания могли, порой, привести к содержательным научным результатам. Для определенности мы ограничимся фундаментальной физикой. Сейчас научные исследования требуют изощренной экспериментальной и теоретико-математической техники.

URSS

Можно выделить следующие уровни понимания, а точнее, непонимания научной проблемы:

- ясно, что из чего следует, и понятно, как и почему;
- ясно, что из чего следует, но не всегда понятно, как и почему;
- корреляции установлены, но не ясно, что из чего следует;
- корреляции не вполне установлены.

Лишь первый уровень совершенно доступен логическому осмыслению (анализ, синтез, дедукция, индукция и т. п.). Уже для второго уровня полный анализ невозможен, а, следовательно, невозможен и обоснованный синтез, только, разве, гипотетический.

Например, центральной проблемой ядерной физики 20-х годов прошлого века был бета-распад — явление спонтанной трансформации некоторых элементов в элементы со следующим атомным номером, сопровождавшейся излучением электронов. Не понятно было, как появлялся электрон. Естественным для физиков того времени стало предположение, что электрон вылетал из ядра исходного элемента, и, следовательно, он там находился до бета-распада. Однако гипотеза внутриядерных электронов столкнулась с большими трудностями. **Во-первых**, из соотношений неопределенности вытекало, что для удержания электронов в пределах ядра необходимы необычайно большие силы. **Во-вторых**, то, что атомные ядра не могут содержать электронов, следовало также из величины магнитных моментов ядер, которые были значительно меньше магнитного момента электрона. **В-третьих**, для некоторых ядер нарушалось квантово-механическое правило связи спина и статистики. Так, в ядре азота ${}_7N^{14}$ должно было бы содержаться 14 протонов и 7 электронов, то есть 21 частица со спином 1/2, и оно должно было иметь полуцелый спин и подчиняться статистике Ферми—Дирака. Экспериментальное же изучение интенсивности вращательных спектров молекулы N_2 доказывало, что ядра азота подчиняются статистике Бозе—Эйнштейна, то есть имеют целый спин. Возникший парадокс был назван «азотной катастрофой». Ещё одна трудность была связана с непрерывностью спектр электронов в процессах бета-распада, свидетельствовавшей, что в отдельных актах бета-распада некоторая часть энергии ядерного превращения как бы «теряется». Для решения всех этих проблем Нильс Бор даже задумался, что электроны, попадая в ядра, «теряют свою индивидуальность» и свой спин, а закон сохранения энергии выполняется только статистически.

Однако в 1930 г. В. А. Амбарцумян и Д. Д. Иваненко выдвинули совсем другую гипотезу бета-распада. Они предположили, что в ядре вовсе нет электронов, а бета-электрон рождается в самом процессе бета-распада [*Сарданашвили, 2010*]. Причем, **эта гипотеза была не плодом какого-либо глубокого анализа явления бета-распада, а простой аналогией с излучением фотонов**. В начале 1932 г. Дж. Чедвик открыл нейтрон

с массой, близкой массе протона, и в мае 1932 г. Д. Д. Иваненко опубликовал свою знаменитую протон-нейтронную модель атомного ядра, утверждая, что, во-первых, атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, во-вторых, нейтроны являются такими же элементарными частицами, как протоны и, в-третьих, электроны возникают при бета-распаде. Если в этой первой статье Д. Д. Иваненко ещё допускает наличие внутриядерных электронов в составе альфа-частиц, но не нейтронов, то уже в следующей публикации в августе 1932 г. он определенно говорит о рождении бета-электронов. Два месяца спустя В. Гейзенберг в своей работе (подписанной 10 июня 1932 г.) цитирует Иваненко. Он пишет: «Это наводит на мысль считать атомные ядра построенными из протонов и нейтронов без участия электронов», но допускает существование электронов внутри нейтронов. В конце 1932 г. – начале 1933 г. П. Блэкетт и Дж. Оккиалини открывают эффекты рождения и аннигиляции электронов и позитронов в космическом излучении, наглядно продемонстрированных своеобразными ливнями на фотографиях в камере Вильсона.

Концепция рождения и уничтожения частиц составила основу современной квантовой теории поля. Она никак не объясняет механизм взаимодействия частиц, а, просто, моделирует его цепочками их рождений и уничтожений по определенным правилам (фейнмановские диаграммы). Это даже не модель явления, поскольку ничего в этом явлении не объясняет. Это — модельная структура.

Другим примером научной проблемы второго уровня является физика атомного ядра. Мы неплохо знаем, что в нем происходит, но не понимаем, как и почему. Сразу, после того как Д. Д. Иваненко в 1932 г. предложил протон-нейтронную модель ядра, встал вопрос о ядерных силах. Уже через месяц после статьи Иваненко В. Гейзенберг высказал идею обменных ядерных сил, а Д. Д. Иваненко и Е. Н. Гапон выдвинули оболочечную модель ядра. Крупным успехом оболочечной модели было объяснение изомерии атомных ядер, открытое в 1935 г. И. В. Курчатовым и Л. И. Русиновым. В 1934 г. И. Е. Тамм и Д. Д. Иваненко разработали первую конкретную модель ядерных сил между протоном и нейтроном за счет обмена парой электрон — антинейтрино. Опираясь на эту модель, Х. Юкава в 1935 г. предложил мезонную теорию ядерного взаимодействия (Нобелевская премия 1949 г.), подтверждённую открытием пи-мезона в 1947 г. В 1936 г. Н. Бор, Дж. Уиллер и Я. И. Френкель, развили капельную модель ядра, в которой ядро — это капля, с одной стороны, распираемая кулоновскими силами, а с другой стороны, сдерживаемая ядерными силами типа поверхностного натяжения. В 1949 г. М. Гепперт-Майер и Г. Йенсен вновь вернулись к оболочечной модели, учтя спин-орбитальное взаимодействие (Нобелевская премия 1963 г.). Упомянем ещё кластерную, оптическую, сверхтекучую, статистическую и другие модели. Однако ядро оказалось слишком сложной системой, и, несмотря на все упомянутые попытки, сколько-ни-

будь полную теорию внутриядерного взаимодействия построить так и не удалось. Более того, к середине 50-х годов эта задача вообще отошла на второй план, уступив место военным и техническим приложениям ядерной физики, для которых оказалось достаточным использовать те или иные феноменологические ядерные потенциалы.

В настоящее время все главные проблемы фундаментальной физики относятся даже не ко второму, а к третьему и четвертому уровню. Их логический анализ невозможен, и их решение требует другой методологии — методологии структурализма (см. *8. Концепция структурализма*). Она состоит в том, что **исследуемой системе приписывается некоторая модельная математическая структура, так что выявленные корреляции находят свое представление в рамках этой структуры.**

Несомненным успехом такой методологии являются: эйнштейновская теория гравитации (ОТО), теория элементарных частиц, основанная на присваиваемых им симметриях, калибровочная теория фундаментальных взаимодействия, а в теоретической физике уже упоминавшаяся классическая теория поля.

Если говорить об ОТО, то первую попытку ревизии ньютоновской теории и построения релятивистской теории гравитации предпринял А. Пуанкаре [*Иваненко, 2012*]. Ещё в своих работах по СТО (1905–1906 гг.) он подчеркивал универсальность принципа относительности и распространял его на гравитацию (в противоположность «подгоночным» потенциалам Римана, Вебера, Гербера и др.). Он попытался установить релятивистские поправки к закону Ньютона, но ещё не было и речи о новых уравнениях гравитационного поля. С современной точки зрения Пуанкаре рассмотрел прямое запаздывающее гравитационное взаимодействие. Гравитационные идеи А. Пуанкаре получили в то время лишь незначительное продолжение у Г. Минковского, А. Зоммерфельда, Г. Лоренца, В. де Ситтера. Релятивистские уравнения гравитации в рамках СТО попытались установить также М. Абрагам и Г. Нордстрем (1911 г.) путем перехода от классического трехмерного уравнения Лапласа—Пуассона для ньютоновского скалярного гравитационного потенциала к четырехмерному уравнению в различных вариантах. В отличие от попыток непосредственной релятивизации ньютоновского закона тяготения, Эйнштейн поставил во главу угла принцип эквивалентности (1907–1911 гг.), опиравшийся на факт равенства инертной и гравитационной масс. Отсюда последовало фундаментальное признание движения в поле тяжести как движения по инерции в кривом пространстве. Но решающий шаг удалось сделать Эйнштейну в сотрудничестве с математиком М. Гроссманом в 1912–1913 гг. лишь, когда они **отождествили гравитационное поле с псевдоримановой метрикой**. Это позволило применить к теории гравитации всю богатую технику римановой и псевдоримановой геометрии. Окончательно уравнения гравитационного поля были установлены в 1915 г. Д. Гильбертом,

который выбрал скаляр тензора кривизны как лагранжиан гравитационного поля.

А, вот, последовавшая за этим в 20-е годы попытка построения объединённой геометрической теории гравитации и электромагнетизма (Г. Вейль, А. Эддингтон, Э. Картан, Т. Калуца, А. Эйнштейн) не удалась, поскольку электромагнитное поле, как и гравитационное, стремились описать в рамках, говоря современным языком, геометрии касательного расслоения. Это получилось позже в рамках калибровочной теории на расслоениях.

Построенная на базе псевдоримановой геометрии ОТО выглядела в то время настолько законченной теорией, что все варианты её ревизии и обобщения оказались несостоятельными. Понадобились десятилетия, пока стало ясно, что в ОТО есть ряд коренных трудностей [*Иваненко, 2012*]. В настоящее время, наряду с ОТО, существует несколько сотен теорий гравитации, одинаково успешно удовлетворяющих известным наблюдательным данным.

Изначально совсем другие, не геометрические, а групповые и алгебраические конструкции, легли в основу современной теории элементарных частиц. Первым шагом к групповой классификации частиц стала в 30-е годы идея Гейзенберга, что нейтрон и протон (всего два известных тогда адрона) следует рассматривать как два состояния («изотопа») одной и той же частицы — нуклона. Основанием ей послужили только то, что нейтрон и протон близки по массе, и аналогия со спином. Поэтому и предложили приписать протону и нейтрону два разных значения +1/2 и −1/2 «внутреннего спина» — изоспина, характеризующих фундаментальное представление группы $SU(2)$. С открытием в 50-е годы новых адронов, группу симметрий элементарных частиц расширили до $SU(3)$, и для них была введена ещё одна характеристика — «странность». Почему именно $SU(3)$? Потому что, как оказалось, барионов со спином 1/2 — 8, мезонов — 8, а барионов со спином 3/2 — 10, как в мультиплетах $M^8(1,1)$ и $M^{10}(3,0)$ этой группы. Правда, рассматривались и другие группы симметрий: G_2, $Sp(2)$. Решающим для признания $SU(3)$-симметрии частиц стало открытие в 1964 г. предсказанного на её основе Ω-гиперона. Стало ясно, что групповая классификация элементарных частиц характеризует их реальные различия. Какие это различия? Ответ предложила гипотеза кварков.

Дело в том, что представления $M^8(1,1)$ и $M^{10}(3,0)$ группы $SU(3)$, характеризующие мультиплеты адронов, являются тензорными произведениями двух фундаментальных представлений $M^3(3,0)$ и $M^3(0,3)$ этой группы. На основании этого математического факта в 1964 г. М. Гелл-Манн и Дж. Цвейг предсказали, что этим представлениям соответствуют мультиплеты реальных частиц — кварков и антикварков, из которых, тем самым, состоят все адроны. Однако в этом случае, например, Ω^--гиперон

должен быть составлен из трех одинаковых кварков, что, вроде бы, невозможно, поскольку кварки — фермионы, подчиняющиеся принципу Паули. Чтобы только «спасти ситуацию», предположили, что каждый кварк, представляет собой три кварка, различающиеся ещё по одной характеристике — «цвету», и составляющие фундаментальное представление другой «цветной» группы $SU(3)$ (О. Гринберг, Н. Н. Боголюбов, Б. В. Струминский, А. Н. Тавхелидзе, Й. Намбу, М. Хан, Й. Миямото).

Вскоре были проведены эксперименты, которые позволили говорить о кварках, как о реальных образованиях внутри адронов. Первыми из них были эксперименты по рассеянию электронов, а затем и нейтрино на нуклонах. Из них следовало, что заряд составных частей нуклона дробный и кратный 1/3 (в соответствии с кварковой моделью). Изучение процесса рождения адронов при аннигиляции электрона и позитрона, который, предположительно, идет через рождение пары кварк-антикварк, указало на наличие двух групп рождавшихся адронов («струй»), связываемых с каждым из образующихся кварков. Это дало возможность определить спин кварков, равный 1/2. Общее число рождённых в этом процессе адронов свидетельствовало также о том, что в промежуточном состоянии возникали кварки трех разновидностей, то есть кварки трехцветны.

Современная классификация элементарных частиц полностью основана на групповых симметриях [*Novaes*]. Соответствующими симметриями характеризуются лагранжианы частиц, вершины диаграмм Фейнмана, выполняются законы сохранения соответствующих чисел и зарядов, или, наоборот, как потом оказывалось, нарушаются, если симметрия нарушается или расширяется.

Всё это — алгебраические структуры, которые, однако, оказались связанными с геометрическими структурами, обуславливающими сам механизм взаимодействия элементарных частиц посредством калибровочных полей.

В 1918 г. Г. Вейль в своей единой теории гравитации и электромагнетизма, по аналогии с необходимостью гравитационного поля для обеспечения общековариантности теории, связал введение электромагнитного поля с обеспечением инвариантности относительно калибровочных (зависящих от координат) масштабных преобразований (умножений на действительное число). Однако реально теория Вейля привела к описанию не электромагнетизма, а к конформной теории гравитации [*Иваненко, 2012*]. В 1941 г. В. Паули применил эту конструкцию для описания электромагнетизма, но с заменой группы масштабных преобразований на группу фазовых преобразований $U(1)$. В результате, электромагнитный потенциал A_μ должен присутствовать в лагранжиане электродинамики в составе ковариантных производных $\partial_\mu - iA_\mu$, где мнимая единица i — генератор группы $U(1)$. Для электродинамики такой способ введения элек-

тромагнитного потенциала ничего нового не давал, и ему не придали особого значения.

Однако в 1954 г. вышла статья Ч. Янга и Р. Миллса, где конструкция Паули была применена к изоспиновой группе $SU(2)$ — единственной тогда известной группе симметрий элементарных частиц. И уже в 1956 г. Р. Утияма обобщил эту конструкцию для произвольной группы Ли G внутренних симметрий [*Иваненко, 1964*]. Результатом было то, что в лагранжиане полей с группой симметрий G операторы частных производных ∂_μ следует заменить на ковариантные (компенсирующие) производные $\partial_\mu - A^m_\mu I_\mathrm{m}$, где I_m — генераторы группы G, а A^m_μ — соответствующие калибровочные поля. В таком виде получался лагранжиан полей с группой симметрий G, взаимодействующих посредством калибровочных потенциалов A^m_μ, подобно тому, как заряды взаимодействуют через электромагнитное поле. Отсюда следовало, в частности, что электрослабое взаимодействие с группой симметрий $U(1)\times SU(2)$ осуществляется посредством так называемых промежуточных бозонов (С. Вайнберг, А. Салам, Ш. Глэшоу), а носителями сильного взаимодействия с «цветной» группой симметрий $SU(3)$ служат глюоны. В 1979 г. были открыты глюонные струи, а в 1983 г. — промежуточные бозоны, что **подтвердило калибровочную теорию фундаментальных взаимодействий элементарных частиц**.

Долгое время, однако, оставался не вполне ясным математический статус калибровочных полей, пока в конце 70-х годов не было установлено, что они адекватно описываются связностями на главных расслоениях [*Eguchi*]. Это стало мощным стимулом применения дифференциальной геометрии, а вместе с ней и алгебраической топологии в теории поля и, в частности, привело к исчерпывающей геометрической формулировке классической теории поля в терминах расслоений, включая и калибровочную теорию на главных расслоениях, и теорию гравитации на натуральных расслоениях (см. *7.1. Заблуждение Дирака*). Эта формулировка вполне может служить примером методологии модельных математических структур. Она основывается всего на одном суждении: **классические поля являются сечениями расслоений**, а остальное — «дело математической техники» [*Giachetta, 2009*].

В настоящее время в качестве модельных структур преимущественно рассматриваются геометрии, поскольку они наиболее содержательны [*Sardanashvily, 2004*]. Правда, современная геометрия формулируется, как правило, на алгебраическом языке. В последние два десятилетия наиболее востребованными были *супергеометрия* как дифференциальное исчисление над градуированными коммутативными кольцами и *некоммутативная геометрия* как дифференциальное исчисление над некоммутативными алгебрами [*Giachetta, 2005; Сарданашвили, 2000*]. Упомянем также много-

образия струй, банаховы, гильбертовы и квантовые расслоения, квантовые группы и алгебры Хопфа, операды и моноидальные категории, группоиды и алгеброиды, топасы.

Опыт применения методологии модельных математических структур содержится в моей научной автобиографии (см. *Дополнение I. Моя научная биография как опыт методологии познания*).

Недостатком указанной методологии является то, что она не выводит за рамки антпропоморфной математики множеств.

В этой связи, отметим также два принципиальных «физических» ограничения на предмет научных исследований.

Во-первых, человечество, по-видимому, уже достигло предела мощности ускорителей. Технически невозможно построить что-нибудь хотя бы на порядок мощнее, чем существующий Большой адронный коллайдер в CERN, который в 2015 г. модернизируют до энергии *7 + 7 Тэв*. Поэтому физика элементарных частиц при энергиях свыше, скажем, 100 Тэв для земной науки навсегда закрыта.

Во-вторых, если не удастся преодолеть скорость света (а согласно теории относительности, это невозможно), человечество никогда не выйдет за пределы Солнечной системы. В Солнечной же системе, как показали полеты автоматических станций к другим планетам, ничего особенно интересного и необычного нет.

Единственное «окно», которое остаётся для фундаментальной физики, это пассивные астрофизические и космологические наблюдения, где главная сейчас проблема — явления «тёмной» энергии и «тёмной» материи [*Roos*].

Впрочем, в конце XIX века тоже казалось, что фундаментальная, тогда классическая, физика себя исчерпала.

URSS

Ипостась бытия как сущее — универсальная структура.

ГЛАВА 8

Концепция структурализма

В философии *структура* определяется как нечто типа: «строение и внутренняя форма организации системы, выступающая как единство устойчивых взаимосвязей между её элементами».

Всюду в этой книге мы, однако, исходим из понятия математической структуры (см. *9. Математическая теория структур*), адаптируя его к частностям бытия. Более того, ипостась сущее бытия как материального, так и идеального определяется именно как структура: соответственно, структура с носителем и абстрактная структура (см. *4.2. Онтология бытия*). Такое понимание бытия как сущее составляет основу *философской концепции структурализма*.

Однако мы здесь ограничимся рассмотрением структурализма как методологии науки. В этом качестве ***структурализм* — научная методология, когда объектом познания являются структуры сами по себе, без апелляции, вообще говоря, к природе носителя**, разве что, только предварительно, когда эти структуры устанавливаются.

В этом смысле, математика как наука о множествах — полностью *структуральная наука*, объектами которой являются структуры на множествах, а их носители — элементы множеств — характеризуются только отношением принадлежности множеству. Именно поэтому, говоря о структурах и методологии структурализма, мы основываемся на понятии математической структуры.

Структурализм как методология научного познания возник в начале XX века в ряде гуманитарных дисциплин: структурная лингвистика и семиотика (Ф. де Соссюр, Ч. Пирс, Р. Якобсон), этнология (К. Леви-Стросс), литературоведение (Р. Барт), психология и психоанализ (Ж. Пиаже, Ж. Лакан), история культуры (М. Фуко) [*Леви-Стросс; Пиаже; Косинов; Басин*]. Некоторые направления современной экономики тоже несут отпечаток структурализма, например, неоинституционализм (Р. Коуз) [*Норт*].

Почему именно в гуманитарных дисциплинах? Дело в том, что, как уже отмечалось, предметом науки являются воспроизводящиеся явления. Однако

это не совсем так для гуманитарных наук. Общество меняется со временем и невоспроизводимо. При этом наиболее устойчивыми в общественной системе оказываются характер и структура общественных отношений, субъектом и объектом которых выступает человек. Почему? Потому что взрослая жизнь человека — это, ну, скажем, 50 лет, и за этот период среднестатистический человек — его пристрастия, привычки, образ действия, менталитет — радикально не меняется. Общество преобразуется с новыми генерациями (с возрастным шагом, примерно, 5 лет), но и они наследуют предшествующим. А общественные отношения — это и есть структура. Правда, несколько в стороне от других общественных наук стоит экономика, где объектом отношений является собственность (см. *10. Структуральная экономика*).

В применении к гуманитарным наукам методология структурализма базируется на том, что:

- «социальные и культурные явления не имеют субстанциальной природы, а определяются своей внутренней структурой и своими отношениями с другими явлениями в соответствующих социальных и культурных системах»;
- «эти системы суть системы знаков, имеющие для субъектов особое самостоятельное значение».

Например, структуралист, изучающий одежду, выделяет те её признаки, которые значимы в той или иной культуре для того, кто носит эту одежду, хотя они могут не иметь никакой рациональной ценности: длина юбок в какой-нибудь культуре может быть значимой, тогда как материал, из которого они сделаны, — нет. Именно знаковость придаёт устойчивость такого рода явлениям, поскольку значения знаков иррациональны, и, следовательно, их изменения слабо мотивируются внешними обстоятельствами.

Впоследствии концепция структурализма вышла за рамки методологии науки в область общественного мировоззрения, идеологии и даже моды и архитектуры. Суть *идеологического и мировоззренческого структурализма* состояла в признании самоценности общественных структур и институтов в качестве стабилизатора общественной системы, причем, даже вопреки, порой, целесообразности и гуманизму. Коротко это можно выразить древнеримской сентенцией: **«самое рациональное — это следовать принципам».**

Однако обострение социальных конфликтов в конце 60-х во Франции и других странах, нанесло удар по структуралистской идеологии — общественные и, особенно, государственные структуры имеют выраженную тенденцию становится самодовлеющими.

«Преодолением» структурализма в философии и культурологии стал постструктурализм, а в исскустве и архитектуре — постмодернизм. Суть его состояла в том, что «установленный человеком закон, человек может и отменить», а если обратиться к приведенной выше древнеримской сентен-

URSS

ции, то, действительно: **«самое рациональное — это следовать принципам, но не обязательно одним и тем же».**

Подверглась критике и научная методология структурализма (Ж. Деррида), поскольку опыт её применения вскоре выявил «парадоксальные и противоречивые явления, делающие невозможным завершение последовательных структуралистических грамматик и систематизаций».

И все-таки, явление структурализма, когда вызывает интерес структура сама по себе, имеет глубокие основания в человеческом сознании и, возможно, вообще в сознании. В искусстве инструментальная музыка — это структурализм (звуковой абстракционизм). В пении вокал сам по себе (без осмысления содержания, например, когда поют на другом языке) — это структурализм. В визуальном искусстве абстракционизм (когда интересует только структура: линий, цвета, мазков и т. п., например, в орнаменте) — это своего рода визуальный структурализм.

Фундаментом для концепции структурализма служит то, что всякая структура представима конституентом абстрактной универсальной структуры (см. *9.4. Универсальная структура*), и поэтому морфизмы структур и их корреляции могут рассматриваться безотносительно онтологии их носителей как морфизмы абстрактной универсальной структуры с абстрактным носителем — её же элементами. Таким образом, **структуры способны взаимодействие самих по себе, без соотнесения их носителей,** по каким-то своим законам или «пристрастиям». Поэтому, когда в рефлексирующем человеческом «Я» находит представление другая структура, последняя может быть ему «интересна» именно как структура.

Подобная корреляция (взаимодействие) совсем разных по характеру структур наблюдается и в общественных системах. Примером может служить такое явление как «общественный капитал (см.: *Чаплыгина И. Г. Понятие социального капитала в экономике*). Конечно, эти структуры имеют один и тот же носитель — людей. По-видимому, их корреляция обусловлена именно этим. Но объяснить эту корреляции на таком «элементном» уровне не удаётся, как нельзя объяснить, почему данному человеку нравится Пикассо, измеряя трансмембранный электрический потенциал его нейронов.

В конце XX века научная методология структурализма пришла в естественные науки, а именно, фундаментальную физику. Это вызвано тем, что, как уже отмечалось, системы, с которыми современная физика имеет дело, как правило, характеризуются лишь некоторым набором корреляций, причинно-следственная связь и механизм которых, в принципе не поддаются анализу (см. *7.3. Новая методология физики*). Поэтому методология их исследования сводится к выбору той или иной модельной математической структуры, в рамках которой эту совокупность корреляций удаётся воспроизвести. Несколько раз это оказалось весьма успешным — эйнштейновская теория гравитации, теория элементарных частиц, калибровочная теория фундаментальных взаимодействий, классическая теория поля.

Всякая структура представима
как конституент абстрактной структуры

ГЛАВА 9

Математическая теория структур

Современное понимание математической структуры сформировалось в начале XX века. При этом, в математики, как уже отмечалось, долгое время доминировало представление, что математические объекты даны вместе с некоторой структурой, если не единственной, то канонической (естественной). Только достаточно продолжительная практика, в частности, функционального анализа побудила математиков признать, что выделенной канонической структуры может не быть [*Бурбаки, 1963*].

В математике рассматриваются разные типы структуры: алгебраическая, геометрическая, топологическая, решетки (алгебраическое понятие, обобщающее булевы алгебры) и др. В первом томе своего курса Н. Бурбаки дают общее формализованное описание математической структуры, главная задача которого определить род такой структуры и тем самым сделать возможным сопоставление структур [*Бурбаки, 1965*]. Однако можно предложить иное понятие структуры [*Сарданашвили, 2013*], которое поглощает другие определения, в том числе, данное Н. Бурбаки, но не позволяет характеризовать и детализировать разновидности структур (см. *9.2 Структуры*). Оно базируется на понятии отношения на множестве (см. *9.1. Отношения*) и обобщает определение реляционной системы [*Куратовский, 1970*].

Хотя мы следуем аксиоматики фон Неймана—Бернайса—Гёделя теории множеств (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*), однако, если особо не оговорено (см. *9.4 Универсальная структура*), в дальнейшем рассматриваются структуры только на множествах. Этого, вообще говоря, достаточно для переноса понятия структуры на реальные системы, которые, как мы предположили, образуют множества (см. *4.2. Онтология бытия*).

9.1. Отношения

Пусть X — множество. *Предикат* — двузначная функция R со значениями 1 и 0 на n-кратном прямом произведении $X^n = \overset{n}{\times} X$ этого мно-

жества называется n-арным *отношением* на множестве X. Говорят, что элементы $x_1, ..., x_n \in X$ состоят в отношении R и пишут $x_1 ... x_n R$, если $R(x_1, ..., x_n) = 1$. Подмножество множества X^n, в точках которого $R = 1$, называется *областью отношения* R. Область отношения полностью его характеризует, и поэтому отношения с совпадающими областями отождествляются. Мы будем обозначать область отношения тем же символом R, что и само отношение, и тоже называть её отношением, то есть $x_1 ... x_n R$, если $(x_1, ..., x_n) \in R$.

Пусть $K \subset X$ — это наименьшее подмножество X, такое что всякий его элемент находится в отношении R с какими-либо элементами X, не исключая в общем случае самого себя. Ясно, что $R \subset K^n$. Будем называть K *контентом отношения* R, а его элементы — *объектами этого отношения*. В общем случае контент K не совпадает с множеством X, которое именуется *универсумом*.

Приведем несколько важных примеров отношений.

(а) Пусть область отношения R — пустое подмножество X^n, то есть этот предикат тождественно равен 0 на X^n. Как отношение оно характеризует отсутствие какого-либо n-арного отношения между элементами множества X. Мы будем называть его *пустым отношением*. Иногда отсутствие отношения удобно характеризовать именно как пустое отношение. В дальнейшем отношения по умолчанию (то есть если специально не оговорено) предполагаются непустыми.

(б) Одинарное отношение $R \subset X$ будем называть *отношением отбора*. Контент этого отношения совпадает с его областью R, а его фиксированный объект $x \in R$ называется *представителем* R. В частности, само множество $R = X$ может быть отношением отбора. Отношением отбора является и множество $R = \{x\}$, состоящее из одного элемента $x \in X$.

Отношение отбора определяет бинарное отношение $R^2 = R \times R \subset X^2$ на X (см. ниже), такое что из условий xR и $x'R$ следует $xx'R^2$ и $x'xR^2$, и обратно. Отношение R^2 именуется *отношением схожести*, а объекты, находящиеся в этом отношении, называются *схожими*.

(в) Бинарное отношение R на множестве X называется *отношением эквивалентности,* когда оно удовлетворяет следующим условиям: 1) xxR для всех $x \in X$, то есть X — его контент; 2) если xyR и yzR, то xzR; 3) если xyR, то yxR. Подмножество $F \subset X$ называется *классом эквивалентности* отношения R, если все его элементы состоят в отношении R друг с другом и только друг с другом. Классы эквивалентности отношения R образуют разбиение его контента X, то есть X представляется объединением классов эквивалентности, которые

между собой не пересекаются. Множество таких классов эквивалентности называется фактором множества X по отношению эквивалентности R и обозначается X/R, или, просто, *фактор-множеством*.

(г) Бинарное отношение R на множестве X называется *отношением частичного порядка*, когда оно удовлетворяет следующим условиям: 1) xxR для всех $x \in X$, то есть X — его контент; 2) если xyR и yzR, то xzR; 3) если xyR и yxR, то $x = y$. Отношение частичного порядка обычно обозначают $x \le z$. Элемент $x \in X$ называется *минимальным*, если из условия $z \le x$ следует $z = x$, и *максимальным*, если из условия $x \le z$ вытекает, что $z = x$.

Отношение частичного порядка именуется *отношением порядка* (или *отношением линейного порядка*), когда любые два элемента X находятся между собой в этом отношении.

(д) Бинарное отношение R с контентом X именуется *отношением отображения,* если из условий xqR и xpR следует, что $q = p$. Оно определяет отображение $x \to q$ некоторого подмножества множества X в X. В частности, всякое отображение $\mu : X \to X$ задаёт на X отношение отображения R_μ, такое что $x\mu(x)R_\mu$ для всех $x \in X$.

(е) Триарное отношение R с контентом X называется *отношением произведения,* если из условий $xyqR$ и $xypR$ следует, что $q = p$. Оно определяет на множестве X операцию произведения $x \circ y$, такую что $xy(x \circ y)R$. Например, всякая операция произведения $\mu : X^2 \to X$ задаёт на X триарное отношение произведения R_μ, такое что $xy\mu(x,y)R_\mu$ для всех $x, y \in X$. В частности, если $\mu(x,y) = \mu(y,x)$ для всех элементов $x, y \in X$, то операция произведения является коммутативной.

(ж) В более общем аспекте рассмотрим на множестве X n-арное отношение R, такое что, из условий $x_1 \ldots x_{n-1}qR$ и $x_1 \ldots x_{n-1}pR$ следует $q = p$. Будем именовать его *отношением композиции*. Соответственно, если $x_1 \ldots x_{n-1}\mu(x_1, \ldots, x_{n-1})R$, назовем $\mu(x_1, \ldots, x_{n-1})$ *композицией* (*корреляцией*) элементов $x_1, \ldots, x_{n-1} \in X$. Например, бинарное отношение композиции — это отношение отображения, а триарное отношение композиции — отношение произведения. Всякое отображение $\mu : X^{n-1} \to X$ задаёт на множестве X n-арное отношение композиции.

Очевидно, что любое n-арное отношение на множестве X является отношением отбора на X^n, и наоборот. Это позволяет для пары множеств

X и Q ввести понятие *Q-значного n-арного отношения* (отношения со значением в Q) на X как отношения отбора на множестве $X^n \times Q$.

В частности, рассмотрим на $X^n \times Q$ отношение отбора R, такое что, если $x_1 ... x_n qR$ и $x_1 ... x_n pR$, то $q = p$. По аналогии со случаем $Q = X$ будем называть его n-арным *V-значным отношением композиции* на X. Например, $(n+1)$-арное отношение композиции на X — это n-арное X-значное отношение композиции.

Так, всякое отображение множеств $X \to Q$ задаёт одинарное Q-значное отношение композиции (*отношение отображения множеств*) на X. В частности, *хронологической корреляцией* будем называть отношение композиции на множестве $\boldsymbol{R} \times X$, представляющее морфизм $\boldsymbol{R} \to X$, где $\boldsymbol{R}$ — ось времени.

Если в определении отношения композиции снять требование, что из условий $x_1 ... x_n qR$ и $x_1 ... x_n pR$ следует $q = p$, можно говорить об *отношении многозначной композиции*, каковым тогда является всякое отношение.

Заметим, что, если специально не оговорено, мы следуем общепринятому понятию однозначного отображения множеств $X \to Q$. Если допустить *многозначность отображения*, когда всякому элементу из X сопоставляется некоторое подмножество (возможно и пустое) из Q, то всякое отношение отбора φ на $X \times Q$ задаёт отображение $X \to Q$, а также $Q \to X$, поскольку уже нет различия между областью и значением отображения φ. Поэтому такое многозначное отображение множеств будем именовать их *соотнесением* Обозначив $\pi_X : X \times Q \to X$ и $\pi_V : X \times Q \to Q$, назовём $\varphi_X = \pi_X(\varphi) \subset X$ и $\varphi_V = \pi_V(\varphi) \subset Q$ *проекциями соотнесения* или, точнее, его области $\varphi \subset X \times Q$ в X и Q. Однако, для наглядности и по аналогии с отображениями, удобно его проекции φ_V и φ_X считать соответственно *образами* X и Q при соотнесении множеств φ.

Пусть множество X наделено двумя n-арными отношениями R и S. Мы будем трактовать пару R и S как *систему отношений* (R, S) на множестве X. При этом разные n-плеты элементов X, состоящие или R, или в S, могут удовлетворять тем или иным условиям, которые будем называть *связью отношений* R и S. Эти условия тоже могут записываться как отношения.

Например, множество $\boldsymbol{Z}$ целых чисел с операциями умножения $r \circ r'$ и сложения $r + r'$ характеризуется парой триарных отношений произведения (R, S), таких что $rr'(r \circ r')R$ и $rr'(r + r')S$, удовлетворяющих связи (*условию дистрибутивности*): $(r \circ r')(r \circ r'')(r \circ (r' + r''))S$, которое тоже представляет собой триарное отношение.

Если один и тот же n-плет элементов X рассматривать как в отношении R, так и S, то мы придем к следующим *комбинациям отношений*, определяемым операциями на множествах: их объединением, пересечением и включением.

(А) Объединение $R \cup S$ областей n-арных отношений R и S определяет на X предикат $R \cup S = R + S - RS$, называемый *объединением отношений*. Элементы X состоят в этом отношении, если они находятся хотя бы в одном из отношений R или S. Поэтому контентом отношения $R \cup S$ является объединение контентов отношений R и S.

(Б) Пересечение $R \cap S$ областей n-арных отношений R и S задаёт на X предикат $R \cap S = RS$, именуемый *пересечением отношений,* которое может быть пустым. Элементы X состоят в этом отношении, если они находятся одновременно и в отношении R, и в отношении S. Поэтому контентом отношения $R \cap S$ служит пересечение контентов отношений R и S. Если это пересечение — пустое множество, мы и получаем пустое отношение $R \cap S$.

(В) Пусть $R \subset S$. Тогда отношение R называется *частностью* отношения S. Его контент содержится в контенте S. На X существует n-арное отношение $S = X^n$, такое что всякое n-арное отношение на X является его частностью. Оно называется *универсальным n-арным отношением*.

Например, пусть R — это отношение отбора: «красный предмет», а S — это отношение отбора: «круглый предмет». Тогда их объединение $R \cup S$ — это отношение отбора красных или круглых предметов, а пересечение $R \cap S$ — это отношение отбора красных круглых предметов. При этом $R \cup S$ является частностью и R, и S, а последние — это частностями $R \cup S$.

Понятия системы и комбинации отношений на универсуме X непосредственным образом обобщаются на произвольное семейство отношений одной и той же n-арности.

Определим теперь морфизмы отношений. В математике морфизмами обычно называют отображения множеств со структурами, но мы здесь будем рассматривать более общий случай морфизмов при соотнесениях множеств.

Пусть $X \leftrightarrow Y$ — некоторое соотнесение множеств X и Y, задаваемое отношением отбора $\varphi \subset X \times Y$ на их произведении. Соответствующее соотнесение $\varphi^n \subset X^n \times Y^n$ прямых произведений $X^n \leftrightarrow Y^n$ для простоты будет обозначать тоже φ.

Соотнесение $X \leftrightarrow Y$ называется *отображением* $X \to Y$ множества X в множество Y, если каждому элементу X сопоставляется некоторый один

элемент Y. Благодаря этому условию, задана композиция $X \to Y \to Z$ отображений множеств $X \to Y$ и $Y \to Z$, которая является отображением множеств $X \to Z$.

В отличие от отображений, композиция соотнесений множеств $X \leftrightarrow Y$ и $Y \leftrightarrow Z$ в общем случае не определена, поскольку элементу $x \in X$ могут соответствовать разные элементы Y, которым соответствуют несовпадающие подмножества Z или, вообще, никакие элементы Z не сопоставляются.

Пусть R — n-арное отношение на множестве X, представляемое отношением отбора на X^n. Обозначив проекции $\pi_X : X^n \times Y^n \to X^n$ и $\pi_Y : X^n \times Y^n \to Y^n$, расширим его как предикат $R \circ \pi_X$ на $X^n \times Y^n$, затем ограничим $(R \circ \pi_X)_\varphi = (R \circ \pi_X) \cap \varphi$ его область на соотнесение $\varphi \subset X^n \times Y^n$ и спроектируем последнюю как $\pi_Y((R \circ \pi_X)_\varphi)$ в Y^n. Это является областью n-арного отношения на множестве Y, которое назовем *образом* R_φ отношения R при соотнесении φ.

Область этого образа R_φ, очевидно, принадлежит проекции φ_Y соотнесения φ в Y^n и состоит из тех и только тех точек Y^n, которые φ-соотносятся с какими-либо точками из области R в X^n. Например, R_φ может быть пустым.

В частности, пусть соотнесение φ — это отображение множеств $X \to Y$, и пусть R — отношение на X. Тогда область его образа R_φ на Y — это образ $\varphi(R)$ области R при отображении φ. Если теперь S — отношение на Y, то область его образа S_φ на X является прообразом $\varphi^{-1}(S)$ области S.

Отметим, что, поскольку композиция соотнесений множеств не определена, не задана в общем случае и композиция образов отношений, то есть **образ образа отношения не является его образом.**

Однако определен *обратный образ* $R_{\varphi\varphi}$ в X образа R_φ при соотнесении $\varphi : X \leftrightarrow Y$. В общем случае $R_{\varphi\varphi}$ отличен от R. Их совпадение имеет место, когда соотнесение $\varphi : X \leftrightarrow Y$ — это отображение Y в X, такое что $R \subset \varphi(Y^n)$, например, когда образ $\varphi(Y)$ содержит контент R.

Если при соотнесении $\varphi : X \leftrightarrow Y$ множество Y изначально снабжено некоторым n-арным отношением S и R_φ — его частность, то будем говорить, что φ — *морфизм* отношения R в отношение S.

URSS

Например, если снабдить Y образом R_φ, то имеет место морфизм R в свой образ.

Пусть множества Y и X наделены соответственно n-арными отношениями S и R. Соотнесение $\varphi : X \leftrightarrow Y$ называется *изоморфизмом отношений,* S и R, если образ R_φ совпадает с S, а образ S_φ — с R, то есть $R_\varphi = S$ и $S_\varphi = R$. При этом, следует подчеркнуть, что соотнесение φ не обязано быть биекцией множеств.

Изоморфные отношения на одном и том же множестве называются *эквивалентными*, если их изоморфизм — биекция их контентов.

9.2. Структуры

Обратимся теперь к определению структуры на множестве.

> Пусть X — множество и пусть J_n — некоторое подмножество множества 2^{X^n} подмножеств множества X^n для $n = 1, \ldots$. В частности, J_n может быть пустым множеством, что то же самое, если единственным элементом J_n является пустое множество $\{\}$. Обозначим R_{j_n} — подмножество X^n, представленное элементом $j_n \in J_n$ (обозначая обратно $j_n = [R_{j_n}]$), трактуя его как область n-арного отношения на универсуме X. Тогда эти подмножества задают систему $(R_{j_n \in J_n})$ n-арных отношений на множестве X. Семейство $(R_{j_1 \in J_1}, \ldots, R_{j_n \in J_n}, \ldots)$ систем $(R_{j_n \in J_n})$, $n = 1, \ldots,$ n-арных отношений называется *структурой характеристики* $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ на *универсуме* X. Поскольку структура однозначно определяется своей характеристикой $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$, мы часто будем просто говорить, что это — структура $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$.

Приведенное определение структуры обобщает понятие *реляционной системы* на множестве X в теории множеств, когда J_n — конечные множества, непустые не более чем для конечного набора значений n [*Куратовский, 1970*].

Будем именовать подмножество $K \subset X$ *контентом структуры,* если всякий его элемент находится хотя бы в одном из отношений R_{j_n} с ка-

URSS

кими-либо элементами X, не исключая самого себя. Элементы контента структуры называются *объектами* этой структуры.

Отношения R_{j_n} (или, эквивалентно, элементы $j_n \in J_n$) именуются *элементами структуры*. Элементы структуры составляют множество

$$J = (J_1, \ldots, J_n, \ldots) = \overset{n}{\times} J_n .$$

Они, как уже отмечалось, в общем случае могут удовлетворять определенным связям, задаваемым некоторым набором высказывательных функций с помощью символов исчисления высказываний и кванторов. Мы здесь ограничимся предположением, что такая связь представляется некоторым отношением и, тем самым, является элементом структуры, а элементы структуры тогда независимы.

Приведем некоторые примеры структур.

(а) Множество X без структуры иногда удобно характеризовать как множество, наделённое *пустой структурой*, когда все J_n — пустые множества или, что эквивалентно, если они содержат только пустое множество.

(б) Если все составляющие структуру отношения — отношения отбора, то есть $J = (J_1)$, то такая структура называется *структурой отбора*. Например, всякое множество X допускает на себе структуру отбора $J = (J_1 = \{[X]\})$ и структуру отбора $J = (J_1 = \bigcup\limits_{x \in X} \{[\{x\}]\})$. Здесь, поясним, $\{[\{x\}]\} \subset 2^X$ — это подмножество булеана 2^X множества X, состоящее из одного элемента $[\{x\}] \in 2^X$, представляющего подмножество $\{x\} \subset X$, содержащее только один элемент $x \in X$.

(в) Пусть X — топологическое пространство с системой открытых множеств $\{R_j,\ j \in J_1 \subset 2^X\}$. Тогда система одинарных отношений отбора $(R_{j \in J})$ задаёт на X структуру (J_1), которая является *топологической структурой* на X.

(г) Пусть R — n-арное отношение на X. Оно задаёт на X структуру $(R) = (J_n = \{j_R\})$, где $\{j_R\}$ — подмножество 2^{X^n}, состоящее из одного элемента $j_R = [R]$, представляющего подмножество R в 2^{X^n}. Для всякого фиксированного $x \in X$ отношение R определяет $(n-1)$-арное отношение $R_x \subset X^{n-1}$, определяемое соотношением $x_1 \ldots x_{n-1} R_x \Leftrightarrow x_1 \ldots x_{n-1} x R$. Тогда система отношений $J_R = (R_x,\ x \in X)$, образует структуру на контенте X. Будем называть её *структурой по заданному отношению* R.

URSS

Если имеет место взаимно однозначно соответствие $x \leftrightarrow R_x$ между объектами этой структуры $x \in X$ и её элементами R_x, структуру J_R можно рассматривать как заданную на своих элементах, то есть как абстрактную структуру (см. ниже).

(д) Например, пусть R — бинарное отношение частичного порядка на множестве X. Тогда всякий элемент $x \in X$ определяет отношение отбора R_x, которое включает все элементы $z \in X$, такие что $z \le x$. В результате, система отношений (R_x, $x \in X$) образует *структуру по отношению частичного порядка* на множестве X. Ёе объединение (см. ниже) с исходной структурой, задаваемой отношением частичного порядка R, определяется семейством одинарных и бинарного отношений ($R_{x\in X}$, R) и называется *структурой частичного порядка* на X.

(е) Всякое отображение множеств $\mu : X \to Y$ представляет собой структуру, задаваемую отношением отображения R_μ на множестве $X \times Y$. Она называется *структурой отображения*. Соответственно структура по отношению отображения R_μ определяется семейством отношений отбора $R_y = \mu^{-1}(y)$, $y \in Y$, на X. Её контентом является X, а её элементы образуют множество $\mu(X) \subset Y$. Она именуется *структурой прообразов.*

Приведем ещё примеры *алгебраической структуры*, определяемой отношениями композиции.

Пусть множество X наделено триарным отношением произведения R_μ, таким что $ab\mu(a,b)R_\mu$ для всех $a,b \in X$. Задаваемая им структура (R_μ) на X — это *структура произведения*. Пусть отношение R_μ удовлетворяет следующим условиям: 1) если $abcR_\mu$, $cdgR_\mu$ и $bdqR_\mu$, то $aqgR_\mu$ для всех $a,b,d \in X$ (*условие ассоциативности*); 2) существует элемент $e \in X$, называемый единицей, такой что $eaaR_\mu$ и $aeaR_\mu$ для всех $a \in X$; 3) для каждого элемента $a \in X$ существует элемент $a^{-1} \in X$, называемый обратным a, такой что $aa^{-1}eR_\mu$ и $a^{-1}aeR_\mu$. Тогда структура произведения (R_μ) является *структурой группы* на множестве X. В частности, если из $abcR_\mu$ следует $bacR_\mu$ для всех элементов $a,b \in X$, то группа является коммутативной.

Пусть множество X наделено триарным отношением S, задающим на нем структуру коммутативной группы $xx'(x+x')S$, и триарным отношением $xx'(x \circ x')R$ произведения R для всех $x,x' \in X$. Предположим,

что они связаны условием дистрибутивности $(x \circ x')(x \circ x'')(x \circ (x'+x''))S$, являющимся тоже триарным отношением S' — частностью отношения S для троек элементов $(x \circ x', x \circ x'', x \circ (x'+x''))$. Тогда пара (S, R) (а точнее тройка (S, R, S')) является *структурой алгебры* на X. Примером такой структуры служит рассматривавшаяся выше алгебра целых чисел **Z**.

Пусть на множестве X задана структура $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ и пусть J_n' — подмножества J_n для всех $n = 1,...$. Тогда на X определена структура $(J_1', \ldots, J_n', \ldots)$, которая называется *конституентом* структуры $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$. Конституент именуется *собственным*, если он не совпадает с исходной структурой. Структура считается *элементарной*, если она не содержит собственный непустой конституент. Таковой является структура, характеризуемая каким-нибудь одним отношением, то есть состоящая из одного элемента.

Пусть множество X наделено структурой $J = (J_1, \ldots, J_n, \ldots)$. Рассмотрим отображение J на множество $J' = (J_1', \ldots, J_n', \ldots)$, такое что образ в J' всякого элемента j структуры J с областью R_j представляет подмножество $R_j' \subset R_j$. Множества R_j', трактуемые как отношения, составляют структуру J' на множестве X, называемую *частностью структуры* J. Например, конституент структуры является её частностью, поскольку составляющие его подмножества R_j' — это или сами множества R_j, или пустые множества.

Для иллюстрации рассмотрим приведенный выше пример множества целых чисел **Z**, наделённого структурой алгебры (S, R). Конституентом этой структуры является структура аддитивной группы (S) на **Z**. Рассмотрим подмножество R' множества R, состоящего из точек $rr'(r \circ r')R$, где r — только положительные числа. Тогда структура (S, R') — частность структуры (S, R).

Структуры на множестве X составляют множество; обозначим его S^X. Понятие частности структур вводит на нём отношение частичного порядка, которое назовем *отношением частности*. Минимальным элементом этого отношения является пустая структура, а максимальным — структура $J_{UX} = (2^X, \ldots, 2^{X^n}, \ldots)$. Она называется *универсальной структурой* на множестве X. Элементами универсальной структуры являются всевозможные отношения на X, то есть все подмножества множеств X^n для целых положительных *n,* так что **всякая структура на X является конституентом его универсальной структуры** J_{UX}. При этом, само множество X может быть отождествлено с подмножеством

$$\{X\} = \bigcup_{x \in X} \{[\{x\}]\} \subset 2^X$$

булеана 2^X, то есть с конституентом $J = (J_1 = \{X\})$ универсальной структуры J_{UX} на самом себе.

Отношение частности структур как отношение частичного порядка порождает на множестве структур S^X на множестве X структуру частичного порядка, которую будем называть *структурой частностей*. Более широко, будем так именовать всякую структуру частичного порядка по отношению частности. Как и любая структура частичного порядка, это — абстрактная структура (см. ниже).

9.3. Композиции структур

В самом общем виде *композиции* (*корреляции*) *структур* определяются как композиции элементов множества структур S^X. Рассмотрим некоторые примеры таких композиций.

9.3.1. Образ структуры

Как и в случае отношений, мы будем рассматривать образы и морфизмы (см. ниже) структур при соотнесениях множеств. Пусть $\varphi : X \leftrightarrow Y$ — соотнесение множеств X и Y, определяемое как отношение отбора $\varphi \subset X \times Y$ на их произведении. Пусть на множестве X задана структура $J = (J_1, \ldots, J_n, \ldots)$. Тогда образы $(R_j)_\varphi$ отношений R_j, составляющих структуру $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ на X, задают структуру $J_\varphi = ((J_1)_\varphi, \ldots, (J_n)_\varphi, \ldots)$ на множестве Y, называемую *образом структуры* J или *индуцированной структурой* при соотнесении φ.

Будем называть соотнесение множеств $J \leftrightarrow J_\varphi$ *соотнесением структур*, которому подлежит соотнесение множеств $\varphi : X \leftrightarrow Y$.

Например, если $Y \subset X$ — подмножество, то индуцированная на нём структура определяется пересечениями $R_j \cap Y^n$ областей n-арных отношений R_j структуры на X, то есть ограничением функций R_j на $Y \subset X$. Она называется *ограничением* на $Y \subset X$ структуры J на X.

Если же $X \subset Y$, то образом структуры J на Y является сама эта структура, рассматриваемая как структура на универсуме Y с контентом в $X \subset Y$. Она называется *расширением структуры* J.

URSS

Пусть $\varphi : X \leftrightarrow Y$ — соотнесение множеств X и Y, и пусть J_φ — образ на Y структуры J на X. Тогда обратный образ отношений определяет *обратный образ структуры* $J_{\varphi\varphi}$ на X. В частности, он совпадает с исходной структурой J на X, когда соотнесение $\varphi : X \leftrightarrow Y$ — это отображение Y в X, такое что образ $\varphi(Y)$ содержит контент J в X.

Следует подчеркнуть, что, поскольку композиция соотнесений множеств не определена, не задана в общем случае и композиция соотнесений структур, то есть **образ образа структуры не является её образом.**

9.3.2. Эквивалентные структуры

Пусть множество X наделено двумя структурами $(I_1, \ldots, I_n, \ldots)$ и $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$. Эти структуры считаются *эквивалентными*, если существует отображение φ множества X на себя, являющееся биекцией их контентов и такое что $\varphi : I_n \leftrightarrow J_n$ — биекция для всех n, то есть φ — эквивалентность определяющих эти структуры отношений. Тождественная эквивалентность, когда морфизм φ является тождественным морфизмом $\varphi(I_n) = \mathrm{Id}(I_n)$ всех областей отношений, составляющих структуру, называется *симметрией структуры*.

Например, одинарное отношение отбора R на множестве X единственным образом определяет бинарное отношение схожести R^2 на X, и обратно. Однако задаваемые этими отношениями R и R^2 структуры на X не эквивалентны друг другу.

Пусть на множестве X задана структура группы (R), такая что $ab(a \circ b)R$ для всех $a, b \in X$. Для каждого элемента $a \in X$ определено бинарное отношение отображения ${}_aR$ на X, такое что $b(a \circ b)_aR$ для всех $b \in X$. Множество отношений ${}_aR$, $a \in X$, задаёт на X структуру $J = (J_2 = \bigcup\limits_{a \in X} \{[{}_aR]\})$, которая является *структурой левого регулярного представления* группы X. Она не эквивалентна структуре группы (R) на X. В то же время, отношения ${}_aR$, $a \in X$, составляют множество, которое, благодаря его канонической биекции на множество X, наделено структурой группы, изоморфной (см. ниже) структуре (R), и структурой левого регулярного представления на самом себе. Аналогично определена структура правого регулярного представления, которая для некоммутативной группы не эквивалентна структуре левого регулярного представления.

Собственный конституент структуры не эквивалентен структуре, тогда как частность структуры может быть ей эквивалентна.

Можно показать, что для эквивалентных структур сохраняются связи между элементами структуры, выражаемые с помощью символов исчисления высказываний и кванторов [*Куратовский, 1970*].

Будем говорить, что эквивалентные структуры на множестве X относятся к одному *типу*. Поскольку эквивалентность структур на данном множестве X является отношением эквивалентности, типы структур на X составляют множество — фактор множества структур на X по этому отношению эквивалентности. Например, структура и её собственный конституент принадлежат разным типам структур.

9.3.3. Комбинации структур

Пусть $(I_1, \ldots, I_n, \ldots)$ и $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ — две структуры на множестве X. Тогда на X определена структура $(J_1 \cap I_1, \ldots, J_n \cap I_n, \ldots)$ — их максимальный общий конституент, называемая пересечением этих структур.

Заметим, что пересечение $R \cap S$ двух отношений R и S определяет структуру $(R \cap S)$, которая не совпадает с пересечением $(R) \cap (S)$ структур (R) и (S), задаваемых этими отношениями. Последняя является пустой, если $R \neq S$.

Расширим конструкцию пересечения на структуры $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ и $(I_1, \ldots, I_n, \ldots)$, в общем случае, на разных универсумах X и Y. Рассмотрим индуцированные ими структуры на пересечении $X \cap Y$. Их пересечение на $X \cap Y$ трактуется как *пересечение структур* $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ и $(I_1, \ldots, I_n, \ldots)$. Оно задаётся пересечениями областей отношений R и S, составляющих соответственно структуры $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ и $(I_1, \ldots, I_n, \ldots)$, такими что

$$R \cap \overset{n}{\times} Y = R \cap S = \overset{n}{\times} X \cap S .$$

В частности, пересечением двух структур может оказаться пустая структура на непустом множестве $X \cap Y$.

Структуры считаются *согласованными,* если их пересечение не пусто. Например, тождественно эквивалентные структуры согласованы. Поскольку пересечение структуры и её частности совпадает с последней, структура и всякая её частность согласованы. Соответственно, образ морфизма структур согласован с его субъектом, будучи частностью последнего (см. ниже).

Структуры называются *независимыми*, если их пересечение — пустая структура на непустом или пустом множестве. Например, структуры, задаваемые соответственно только n-арными и $(k \neq n)$-арными отношениями,

URSS

независимы. Очевидно, структуры независимы, если их контенты не пересекаются.

Пусть $(J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ и $(I_1, \ldots, I_n, \ldots)$ — структуры на X и Y. Тогда при расширении этих структур на объединение $X \cup Y$ задана структура $(J_1 \cup I_1, \ldots, J_n \cup I_n, \ldots)$, называемая *объединением структур*.

Заметим, что объединение $R \cup S$ двух отношений R и S определяет структуру $(R \cup S)$, которая не совпадает с объединением $(R) \cup (S)$ структур (R) и (S), задаваемых этими отношениями, если $R \neq S$.

Структура на множестве X называется *связной*, если она не является объединением независимых структур на X.

Очевидно, структура, задаваемая двумя непустыми несовпадающими отношениями, несвязна. Следовательно, всякая структура — это несвязное объединение элементарных структур.

9.3.4. Морфизмы структур

Пусть множества X и Y снабжены соответственно структурами характеристик $J = (J_1, \ldots, J_n, \ldots)$ и $I = (I_1, \ldots, I_n, \ldots)$. Говорят, что соотнесение множеств $\varphi : X \leftrightarrow Y$ определяет *морфизм структур* $\varphi : J \to I$, если образ J_φ на Y структуры J на X, называемой *объектом морфизма*, является частностью структуры I, именуемой *субъектом морфизма*. При этом, обратно, образ I_φ на X структуры I на Y не обязан быть частностью структуры J, то есть φ, будучи морфизмом структур $J \to I$, в общем случае — это не морфизм структуры I в J.

Например, для отображений алгебраических структур такое определение их морфизма сводится к стандартному, требующему эквивариантность алгебраических операций. Оно также воспроизводит непрерывные отображения топологических структур, когда прообразами, но не обязательно образами открытых множеств являются открытые множества.

Отметим, что, если при соотнесении множеств $\varphi : X \leftrightarrow Y$ множество Y наделено образом J_φ структуры J на X, то соотнесение структур $J \leftrightarrow J_\varphi$ — это морфизм структуры в её образ, который поэтому тоже является субъектом морфизма. При этом каждому элемент структуры J сопоставляется только один элемент её образа J_φ, включая пустое множество $\{\}$. Поэтому морфизм J в J_φ представляет собой отображение множества J на множество J_φ, то есть *эпиморфизм*.

Если J — конституент структуры I, то его естественное вложение в I — это морфизм структур, являющийся *мономорфизмом*.

URSS

Ели $\varphi : X \leftrightarrow Y$ — такое соотнесение, что $(J_n)_\varphi = I_n$ и $(I_n)_\varphi = J_n$ для всех n, то φ называется *изоморфизмом структур*. Эквивалентные структуры, очевидно, изоморфны.

В нематематическом контексте, для наглядности, будем называть изоморфные структуры *совпадающими.*

Отметим, что, поскольку композиция образов структур не определена, не задана в общем случае и композиция морфизмов структур.

Морфизм структур $\varphi : J \to I$ при соотнесении $\varphi : X \leftrightarrow Y$ называется *представлением структуры* J на универсуме Y, если образ J_φ этой структуры — конституент структуры I.

Например, эпиморфизм структуры J на свой образ J_φ является её представлением. А если J_φ — конституент I, то его вложение в I представляет собой мономорфизм структур, и поэтому всякое представление структур $\varphi : J \to I$ можно характеризовать как отображение множества $J \subset S^X$ в множество $I \subset S^Y$.

Если $J \to I$ — мономорфизм, то представление именуется *тождественным.* При тождественном представлении обратный образ представления, очевидно, совпадает с исходной структурой. В более общем плане назовем представление *истинным* если его обратный образ является конституентом объекта представления. В этом случае можно говорить об *обратном морфизме структур.*

Если множество Y снабжено универсальной структурой J_{UY}, всякое соотнесение $\varphi : X \leftrightarrow Y$ определяет представление структур. Поскольку и отображаемая структура J является конституентом абстрактной универсальной структуры I_{UX}, **всякий морфизм структур можно представить как сопоставление конституентов некоторых двух абстрактных структур** (см. ниже)**.**

Рассмотрим следующую конструкцию. Пусть множество X наделено структурой $J = (J_1, \ldots, J_n, \ldots)$. Пусть $\varphi : X \to \{X\} \subset J_{UX}$ — его каноническое вложение на $\{X\} = \bigcup_{x \in X} \{[\{x\}]\}$ в множество элементов универсальной структуры J_{UX} на X. Оно порождает изоморфную структуру J_φ на $\{X\}$ и тождественное представление J_φ структуры J на элементах J_{UX}.

Таким образом,

> **всякая структура на множестве *X* имеет тождественное представление на элементах универсальной структуры на *X*, а универсальная структура на *X* реализуется на своих элементах.**

URSS

9.3.5. Абстрактные структуры

Структуру, которая реализуется на своих конституентах будем называть *абстрактной*, а множество этих конституентов — её *абстрактным контентом*. Это означает, что **определяющие абстрактную структуру отношения являются предикатами на множестве самих этих отношений**. А именно, пусть J — структура на контенте X, и пусть J_α — некоторое подмножество множества J, представляющее конституент структуры J. Если существует соотнесение $\varphi : X \leftrightarrow S^X$, образом которого является множество $J_\alpha \subset S^X$, и такое, что имеет место биекция множеств $R \leftrightarrow R_\varphi$ для всех элементов R структуры J, то J — это абстрактная структура. Понятно, что структура, изоморфная абстрактной структуре, тоже является абстрактной.

Например, всякое n-арное отношение R на контенте X задаёт на X структуру $J_R = (R_x,\ x \in X)$ по отношению R, которая, если соотнесение $x \leftrightarrow R_x$ — биекция, является абстрактной.

> **Структуры частичного порядка и, в том числе структура частностей, являются абстрактными.**

Структура левого регулярного представления группы на самой себе тоже абстрактна. Более того, обобщая эту конструкцию, пусть J — алгебраическая структура на множестве X и R — одно из определяющих её n-арных отношений композиции, для которого X — контент. Для каждого элемента $a \in X$ оно задаёт $(n-1)$-арное отношение композиции ${}_aR \subset X^{n-1}$ согласно условию $x_1 \ldots x_{n-1}\ {}_aR \Leftrightarrow ax_1 \ldots x_{n-1}R$. Множество отношений ${}_aR$, $a \in X$, вводит на X структуру ${}_*J = (J_{n-1} = \bigcup\limits_{a \in X} \{[{}_aR]\})$, которая представляет собой *структуру левого регулярного представления* композиции R. Эти отношения ${}_aR$, $a \in X$, образуют множество, которое, если оно биективно X, является контентом исходной алгебраической структуры J, структуры левого регулярного представления ${}_*J$ и их объединения ${}_*J \cup J$. Тем самым, последняя — это абстрактная структура.

Любая структура на множестве X, имеющая своим конституентом структуру $J_X = (J_1 = \{X\})$, представляется как абстрактная структура с абстрактным контентом J_X. Например, дискретная топологическая структура абстрактна, поскольку элементы самого множества являются его открытыми подмножествами. Очевидно, универсальная структура на множестве абстрактна.

URSS

Всякая структура J на множестве X может быть расширена до абстрактной структуры как объединение структур $\overline{J} = J \cup J_X$. Назовем её *абстрактным пополнением структуры* J.

Следует отметить, что поскольку композиция образов структур не определена, образ морфизма абстрактной структуры в общем случае не является абстрактной структурой. В частности, образ морфизма абстрактной структуры в абстрактную структуру является абстрактной структурой, если абстрактный контент объекта отображается как множество (то есть элемент отображается в единственный элемент, правда, включая ещё пустое множество) в абстрактный контент субъекта. Назовем такой морфизм — *отображением абстрактных структур.*

С другой стороны, морфизм структуры J в абстрактную структуру всегда можно расширить на её абстрактное пополнение $\overline{J}$, хотя его образ может не быть ни частностью субъекта морфизма, ни абстрактной структурой.

9.4. Универсальная структура

В рамках аксиоматики фон Неймана—Бернайса—Гёделя теории множеств (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*) в качестве универсума отношения может выступать собственный класс U, поскольку определено прямое произведение $U \times U$, являющееся собственным классом. Это заведомо не создаёт дополнительных проблем, если контент отношения — множество. Но контентом отношения, вообще говоря, может быть и сам класс U. В этом случае область отношения $R \subset U^n$ — это тоже собственный класс. Напомним, что всякий собственный класс биективен универсуму фон Неймана V.

Тот факт, что собственный класс может быть отношением, побуждает обобщить понятие структуры на случай, когда они задаются такого рода отношениями. Примером является структура булевой алгебры на универсуме фон Неймана (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*). Однако в рамках аксиоматики фон Неймана—Бернайса—Гёделя возникает вопрос, как трактовать систему отношений, элементом которой являлся бы класс. Поэтому ограничимся случаем структуры на классе, элементами которой являются только множества.

Пусть U — собственный класс и пусть заданы классы $U^n = \overset{n}{\times} U$ для всех $n = 1, \ldots$. Все подмножества класса U^n составляют собственный класс $V_n \approx U$. Рассмотрим тогда на U структуру $J_U = (V_1, \ldots, V_n, \ldots)$, порождаемую всевозможными подмножествами классов U^n. Назовем её *универ-*

сальной структурой. Соответственно *структурой на классе* U будет именовать конституент $S = (S_1 \subset V_1, \ldots, S_n \subset V_n, \ldots)$ универсальной структуры.

Например, пусть U — класс, являющийся объединением всех множеств и потому называемый абсолютным универсумом (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*). Пусть X — множество, наделённое структурой J. Его каноническое вложение $\varphi : X \to U$ определяет расширение структуры J на U как конституента универсальной структуры.

Таким образом,

> **всякая структура на любом множестве имеет тождественное представление как конституент универсальной структуры на абсолютном универсуме *U* объединения всех множеств.**

Конечно, структуры на множествах не исчерпывают все конституенты универсальной структуры хотя бы потому, что контентом такого конституента обязательно является множество — подмножество U.

Отметим, что конституент V_1 универсальной структуры на абсолютном универсуме U является универсумом фон Неймана V — классом всех множеств (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*). Сопоставляя его элементу $s \in V$ подмножество $\{s\} \subset V$, мы получаем, что каждый объект универсальной структуры на классе всех множеств V представим её элементом так, что класс V отождествим с конституентом своей универсальной структуры, а универсальная структура реализуется на своих элементах и, тем самым, является абстрактной. Мы будем называть её *абстрактной универсальной структурой*.

Имеет место каноническое вложение $\Phi : x \in U \to [\{x\}] \in V$ абсолютного универсума U на класс одноточечных множеств в класс всех множеств V (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*) и, соответственно, вложение всякого множества $X \subset U$ на подмножество $\{X\} \subset V$, образованное элементами $[\{x\}] \in V$, $x \in X$. Если множество X наделено структурой J, то вложение Φ порождает изоморфную структуру $\Phi(J)$ на $\{X\} \subset V$, являющуюся конституентом абстрактной универсальной структуры на V.

> **Таким образом, всякая структура на любом множестве представима конституентом абстрактной структуры, а именно абстрактной универсальной структуры.**

URSS

Если результат не зависит от того, как считать, это — математика, а если зависит, это — экономика.

ГЛАВА 10

Структуральная экономика

В отличие от ранее обсуждавшихся в книге математики и физики, надо отметить существенную специфику общественных наук, в том числе и экономики.

Во-первых, как уже отмечалось, предметом науки служат воспроизводящиеся явления. Однако **общественная система меняется со временем и не воспроизводима**. Завтра общество уже не такое, как сегодня, и никогда в точности таким уже не будет. Поэтому объектом общественных наук, строго говоря, является только прошлое, но не настоящее и будущее.

Во-вторых, в отличие от естественных наук, **общественные науки имеют дело с самоизменяющимися и развивающимися системами**, а в них действуют, вообще говоря, законы диалектики.

В-третьих, неизменно **в общественных явлениях присутствует разнонаправленная мотивация**, которая не является полностью объективируемой.

Впрочем, мотивация характеризует и биологические системы, но, в отличие от человеческого общества, она там имманентна и однозначна — «смысл жизни в самом её существовании» — и, тем самым, объективирована. Поэтому биология как наука близка к естественным дисциплинам.

В то же время, экономика находится несколько в стороне от других общественных наук. В рамках методологии структурализма, предметом этих наук выступают отношения, субъектом и объектом которых является человек. Однако, если подходить с этих же позиций к экономике, то **предметом экономики как структуральной науки** (*структуральная экономика*) **служат отношения, объектом которых выступает собственность**. Это несколько приближает экономику к естественным наукам, поскольку, как уже отмечалось, именно структура общественных отношений является наиболее устойчивой характеристикой общественной системы (см. *8. Концепция структурализма*).

URSS

Поэтому я позволю себе своего рода тезисное эссе об экономике с позиций структурализма, как структуре, имеющей своим контентом собственности.

В этой связи интересно отметить неоднократные попытки инкорпорировать в экономику представления и методологию естественных наук, а именно, физики, не говоря уже о математике. Вот некоторые примеры.

I. В начале XX века широкую популярность получила концепция *энергетизма*, раскритикованная Лениным (дилетантски с точки зрения физики) в его книге «Материализм и эмпириокритицизм» [*Розенталь*]. Она получила выход и в экономическую науку и до сих пор время от времени там реанимируется. Энергия — это сущностная характеристика физических систем. Если выполняется определенное условие, универсально формулируемое для всех физических систем, то физическая система характеризуется некоторой сохраняющейся величиной, которая называется энергией. Если это условие не выполняется, то физическая система всё равно характеризуется энергией, величина которой, просто, считается непостоянной.

Однако более известно другое, школьное (в школьных учебниках), определение энергии: энергия — это способность тел (физической системы) совершать работу. Строго говоря, такое определение — тавтология, потому что работа — это затраченная энергия на совершение какого-то действия. Но если это действие рассматривать не абстрактно с энергетической точки зрения, а как какой-то «потребительский» результат, то энергия, как способность совершить «потребительское» действие, не является сущностной характеристикой, хотя не перестает быть универсальной, поскольку применима во многих ситуациях. В этом школьном (а также научно-популярном) определении **энергия — это метафора цены**.

Характеризуемая в духе структурализма, *экономическая система как структура* имеет своим объектами собственности, то есть собственность в экономике выступает как носитель экономической структуры. Экономические операции — экономический обмен — это операции с собственностями. Производство — это появление новой собственности, а потребление — убывание собственности. Цена — это то, что нужно затратить, чтобы совершить экономическую операцию. Цена не является сущностной характеристикой собственности, а производная договоренности — отношений между людьми. Цена — не вполне универсальная характеристика. Она стала более или менее универсальной с появлением механизма денег, а при натуральном обмене (бартере) цена всегда конкретна по тому, что на что меняется. В отличие от цены, стоимость — сущностная характеристика собственности, при всех её различных определениях. Если бы в экономике стоимость и цена совпадали, то энергия в первом (строгом) определении была бы метафорой такой цены-стоимости.

II. Как уже отмечалось (см. *1.2. Имманентные свойства жизни*), корни предприимчивости людей, в том числе в экономике, исходят из самой

сути живой природы. Воспроизведение живой структуры происходит при определенных обстоятельствах по месту, условиям, процедуре и т. п. Само наличие воспроизводящейся структуры меняет эти обстоятельства и вынуждает её апробировать новые возможности: новое «жизненное пространство», новые способы и т. д., своего рода, быть (в самом широком смысле) «предприимчивой». Поэтому «предприимчивость» — имманентное свойство живой природы. Образно говоря, «природа не терпит пустоты». При этом, есть интересная аналогия и с неживой природой. Фермионы подчиняются принципу Паули, согласно которому две частицы не могут находиться в одинаковом состоянии. Поэтому, если уже какой-то спектр состояний заполнен, новые частицы «вынуждены» занимать другие состояния. Таким образом, можно предположить, что **экономические системы при свободе конкуренции подчиняются статистике Ферми, а не Бозе—Эйнштейна**. Например, в них отсутствует конденсат, когда много частиц занимают один и тот же низший энергетический уровень.

III. Применение в экономике методов классической и квантовой статистической физики — «экономфизика», «квантовая экономика» [*Романовский; Маслов*].

Следует отметить, что собственность как таковая, то есть анализ её сущности, редко становится самостоятельным предметом интереса экономической науки [*Орехов*]. Дело в том, что **категория собственности не является чисто экономической**. Это в определенном аспекте — философская категория, наравне с познанием и религией. Действительно, присвоение, как познание и религия, является своеобразной формой преодоления отчуждения между «Я» и «не-Я» (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*). Считая что-то из «не-Я» своим, человек, с одной стороны, воспринимает это что-то как близкое себе и потому неопасное, а с другой стороны, объективирует себя в «не-Я» (Гегель).

Более того, **«условия жизни придают значимость самому её существованию»** — это один из «человеческих», не биологических, смыслов жизни, которому многие следуют, чтобы повысить значимость своего бытия для самих себя. И он стал, пожалуй, основным стимулом экономического развития современного общества.

Можно, конечно, относится к понятию собственности, как характеризующему нечто весьма утилитарное. Но смущают некоторые исторические факты. **Во-первых**, с древнейших времен даже не производство, а именно торговля приводили к благоденствию государств и сообществ. Марксизм же трактовал торговлю как сопутствующую и даже паразитическую деятельность. **Во-вторых**, все экономики, в рамках которых начиналась борьба с производством и потреблением предметов роскоши, неизменно и весьма быстро рушились. Примерами могут служить древний Китай (неоднократно), Флоренция при Савонароле в XV веке и экономический кризис во Франции в 1811 г. при Наполеоне.

URSS

Собственность **— это то, что присвоено**. При этом собственность не обязательно предполагает право владения, или пользование, или управление этой собственностью. Может быть, просто, чувство собственности, личное и не признаваемое никем другим. В отличие от познания и религии, присвоение наследовано человеком из «неразумной» живой природы. Животное присваивает добычу, территорию. Но то, что присваивается, воспринимается животным как «его» исключительно в процессе использования. Например, если зверь наелся, остаток добычи для него уже не «его», и он индифферентно относится, к тому, что её доедают другие.

Всякая осознаваемая реальность (представленная в «не-Я») **может быть собственностью**. Новая создаваемая человеком реальность, если в процессе создания или после создания она присваивается, становится собственностью. Например, мыслительный образ, если он высказан, записан или каким-то другим образом объективирован (отчужден), может быть присвоен и, тем самым, стать (интеллектуальной) собственностью.

Труд **— это создание новой собственности**, то есть новой присваиваемой реальности. Например, грибы в лесу и собранные грибы — это две разные реальности. Поэтому собирательство — это труд, хотя и не обязательно. Не всякое создание новой реальности является трудом, а только, если эта реальность становится собственностью. Птица вьет гнездо — это не труд. Аналогично, турист делает шалаш — это не труд. Человек в селе строит именно себе дом — это труд. Ученый развивает теорию — это труд, поскольку он предполагаю, что она будет опубликована и станет частной, общественной или общемировой интеллектуальной собственностью. Если же он её не опубликует, и она останется, просто, его рассуждениями, эта деятельность не станет трудом. Сам труд, реальный, или его возможность (трудовая сила) — это всегда собственность. **Поэтому труд — это тоже преодоление отчуждения между «Я» и «не-Я»**.

Экономические операции — ***экономический обмен*** **— это обмен собственностями со сменой их собственников** (субъектов присвоения). Не всякая операция с собственностью является экономическим обменом. Например, хотя дарение, воровство, наследование сопровождаются сменой собственника, но это — не экономический обмен. При социализме обмен «общенародной» (а фактически государственной) собственности на «общенародную» не сопровождался сменой собственника и, тем самым, не был экономическим обменом.

Товар **— это собственность, которая может быть или является объектом экономического обмена**. Различный товар, чтобы быть товаром, сопоставимым с другим товаром, то есть объектом экономического обмена, должен обладать какой-либо общей характеристикой. Ею является стоимость. ***Стоимость*** **— это сущностная характеристика товара, как объекта экономического обмена**.

URSS

Труд — это товар. Субъектами экономического обмена, объектом которого служит труд, выступают трудящийся (собственник труда) и работодатель. Конечно, речь идет об абстрактных, а не персонифицированных трудящемся и работодателе. Причем, эти абстрактные трудящийся и работодатель могут самым замысловатым образом сочетаться в одном субъекте. В процессе труда труд трудящегося отчуждается у него, трансформируясь в создаваемую новую реальность, присваиваемую работодателем, то есть труд как собственность трудящегося переходит к работодателю, но уже в форме произведенной новой реальности. В обмен работодатель передаёт трудящемуся ту или иную свою собственность — плату за труд. Таким образом, в процессе труда как экономического обмена работодатель получает труд трудящегося в форме новой произведенной собственности, а трудящийся — плату за свой труд.

Уже на весьма раннем этапе развития человечества практически вся новая собственность появляется в процессе труда. Поэтому стоимость всякой собственности естественно сопоставлять со стоимостью труда. Стоимость труда можно определить как продолжительность, соотносимого с ним некого абстрактного труда. Соответственно стоимость того или иного товара можно выражать через продолжительность этого абстрактного труда, как бы «общественно необходимого для производства этого товара», то есть она приравнивается неким условным затратам на его создание. Выраженная таким образом стоимость является численной величиной, хотя и весьма неопределенной. Но это неважно, поскольку величина стоимости — сущностная («принципиальная») характеристика товара, необходимая для качественного анализа.

Например, в процессе труда величина стоимости оплаты труда не должна превышать величину стоимости его продукта, иначе такой труд как экономический обмен был бы невыгоден для работодателя: он приводил бы к снижению общей величины стоимости собственности работодателя, исчерпанию его собственности как товара и, в конце концов, к невозможности такого труда. Таким образом, в общем случае величина стоимости собственности работодателя в процессе труда не уменьшается. Он заведомо получает неотрицательную прибавочную стоимость. Если рассматривается абстрактный (общественно необходимый) труд, то стоимость его продукта по определению равна стоимости труда, а, следовательно, трудящийся получает меньшую стоимость, чем стоит его труд. Таким образом, в общей ситуации труд **представляет собой неэквивалентный экономический обмен**, и прибавочная стоимость у работодателя — это «убывшая» стоимость у трудящегося. Однако **общая стоимость собственности, обмениваемая в процессе абстрактного труда, остаётся неизменной**.

За счет чего же тогда растет экономика и развивается человеческое общество?

Есть принципиальная ситуация, когда человек использует исходный природный продукт, и тогда стоимость продукта его труда превышает стоимость труда, то есть в процессе труда он опосредствует *природную ренту*. В этом случае, общая стоимость собственности, обмениваемая в процессе труда, увеличивается. **Носителем подобного рода природной ренты является и сам (усредненный абстрактный) трудящийся**. Затраты на его воспитание, образование и последующее жизненные расходы ниже стоимости его труда. Эта, скажем так, *человеческая природная рента*, опосредованная в процессе труда, покрывает разницу между величиной стоимости труда и его оплатой.

Сейчас весьма популярно понятие «*человеческий капитал*», который рассматривается как фактор экономического роста. С излагаемой здесь точки зрения человеческий капитал — это младенец (как, например, залегающая в недрах нефть), носитель природной ренты, плюс затраты на её опосредование в процессе выращивания, воспитания и обучения этого младенца (подобно добыче, транспортировке и переработке нефти), то есть превращения его в (абстрактного) трудящегося, являющегося собственником этого капитала. То, что обычно называет *прибавочной стоимостью* — это часть этой опосредованной природной ренты.

Следует предположить, что

> **вся прибавочная стоимость в экономике представляет собой природную ренту, если включить в нее и человеческую природную ренту.**

Особенно эффективно человеческая природная рента извлекается в ходе научно-технического прогресса. В постиндустриальном обществе именно она составляют основную долю образующейся в его экономике прибавочной стоимости. Поэтому в масштабах всего общества именно «вложение в человека» является наиболее целесообразным.

Очевидно, имеет место закон убывания собственности: собственность амортизируется, потребляется, тем или иным образом убывает и, в конечном счете, исчезает. В обществе с разделением труда, когда собственник не может своим трудом обеспечить производство необходимых ему или желаемых им продуктов, это неизбежно создаёт спрос и порождает экономический обмен. Поэтому именно потребление — двигатель экономики.

Поскольку величина стоимости товара является весьма условной и скорее качественной, а не количественной характеристикой, она никогда не совпадает с *ценой* товара — его обменной стоимостью, выражаемой через величину обмениваемого на него товара или условного расчётного товара — деньги. Цена зависит от многих факторов и является деривативом отношения спроса и предложения.

Спрос и предложение — это сущностные характеристики субъектов экономического обмена как таковых, то есть именно как субъектов эконо-

URSS

мического обмена — продавца и покупателя. Цена спроса складывается из цены (именно цены, а не стоимости) понесенных продавцом затрат на этот товар плюс желаемая и возможная выгода, а цена покупателя — его потребительская цена (именно цена, а не стоимость), то есть цена (прошлых или будущих) затрат, которые покупатель компенсирует этим товаром, минус желаемая и возможная экономия.

> **Прибавочная стоимость (природная и человеческая рента) делает возможным суммарную выгодность экономического обмена.**

Однако, **экономика не является только экономической системой**, поскольку спрос, обусловленный потреблением, имеет нормативные (неэкономические) характеристики. Поэтому на экономический обмен распространяется также нормативное представление о «справедливом» (эквивалентном) обмене. Но есть ли предпосылки такого «справедливого» обмена? Да, за счет прибавочной стоимости, которая представляет собой природную ренту, если включить в нее и человеческую природную ренту. Она опосредуется в процессе труда, становится собственностью и перераспределяется путем экономического обмена. При этом общая стоимость обмениваемой собственности увеличивается. Это и есть предпосылка в некотором отношении «справедливого» обмена.

А что есть справедливость? Известно философское определение, что *справедливость* — это совпадение должного (как должно быть) с сущным (как это есть на самом деле). Откуда берется представление: «как должно быть». Это представление — дериватив морали.

> **Справедливость — это конкретное (реальное на практике или гипотетическое) применение морали.**

Она соотносится с моралью так же, как правоприменение — с правом. Поэтому, как и мораль, оценка справедливости является неотъемлемым атрибутом человеческого социума.

Однако, поскольку формализованная в праве ситуация сплошь и рядом отличается от реальной, часто возникает известное противоречие между законом и справедливостью. Действие «по справедливости» не обязательно, а действие в конкретной ситуации «не по справедливости», вообще говоря, не наказуемо. Однако длительное и повсеместное нарушение справедливости по самой сути этого понятия дестабилизирует общество.

Доминирует мнение, что экономика не соотносится с моралью. Поэтому экономическая наука игнорирует категории морали и справедливости и, вообще говоря, рассматривает наравне все виды деятельности, стратифицируя их только по экономической эффективности. Когда выгодно, то допустимо даже, если это коррупция, рейдерство, пиратство. Однако экономика — это один из видов человеческой деятельности, и поэтому она не может

игнорировать мораль и справедливость, как универсальные атрибуты человеческого общества. Вернее, конкретно и разово можно, а порой это даже эффективно или жизненно необходимо, но не постоянно и повсеместно.

А что, собственно, есть мораль? Не будем здесь детально формулировать это понятие. Оно занимает много места даже в философском словаре. Скажем только, что *мораль* — одна из форм общественного сознания. Поэтому у животных, казалось бы, нет морали, но есть целесообразность поведения в интересах выживания вида, закрепленная генетически. **Мораль у людей — это тоже осознанная (выраженная в понятиях) целесообразность в интересах выживания социума.** Следовательно, мораль — неотъемлемый атрибут любого долгосрочного человеческого общества. При этом человеческая мораль не трансцендентна (не «от бога»), а имманентна как свойство биологического (видового) сообщества. Она — дериватив целесообразности выживания по принципу «смысл жизни — в самом её существовании».

Мораль относительна, исторически и социально обусловлена. Что нельзя по отношению к «своим», можно, если это не совсем «свои» или совсем не «свои». Мораль, как правило, не распространяется на представителей другого вида. Так, «человеческое» отношение человека к домашним и другим животным на самом деле обусловлено тем, что он их «очеловечивает» — включает в свой социум.

Будучи неотъемлемым атрибутом человеческого общества, мораль составляет основу общего права. Более того, право не может нормально функционировать без морали. Без морали есть «буква», но нет «духа» закона, и без морали «*закон — что дышло, куда повернешь, туда и вышло*».

Право не заменяет полностью мораль. Право как формально-логическая система в принципе не может всё урегулировать и применимо лишь к ситуациям, которые могут быть формализованы. Такая формализованная ситуация так или иначе отличается от реальной, и поэтому часто возникает, уже упоминавшаяся, дилемма: «по закону, или по справедливости». В отличие от права, мораль формулирует общие правила в применении к ситуациям, которые не вполне определены. А поэтому следование этим правилам не является строгим: «не убий», но, порой, убивать необходимо и убивать разрешается. Нарушение норм морали (не закрепленных правом) осуждается, но, вообще говоря, не наказывается. Известна древнеримская сентенция:

> **«Не аморально не следовать морали в ситуации,**
> **когда ей невозможно следовать».**

Иосиф Флавий в своей книге «Иудейская война» приводит такой ее эпизод. Римляне заняли иудейский город, пообещав его жителям сохранить жизнь. Но возникли проблемы: их надо было транспортировать в другой

город, выделив для сопровождения значительный контингент, не хватало продовольствия и т. д. Римский командующий Флавий Веспасиан (будущий римский император) собрал совещание, чтобы обсудить, не будет ли это против римских традиций (морали), не сдержать данное слово. Они решили, что нет, если слово по объективным причинам сдержать нельзя, и часть пленных — стариков — перебили.

Однако, поскольку мораль — это исторически (более того, цивилизационно) осознанная целесообразность в интересах выживания социума, её длительное и повсеместное игнорирование чревато разрушением этого социума и, в частности, экономики. В этом аспекте мораль является экономической категорией. Более утилитарно мораль в таком качестве фигурирует в концепции «социального капитала» (см.: *Чаплыгина И. Г. Понятие социального капитала в экономике*) и в неоинституционализме как фактор снижения трансакционных издержек посредством социального контроля [*Норт*].

Ярким историческим примером взаимосвязи морали и экономической целесообразности служит традиция отношения к военнопленным. В Европе еще две тысячи лет до н. э., а в Китае еще тысячу лет до н. э. захваченных в бою мужчин-воинов, в отличие от женщин, не могли экономически использовать, и всех их убивали или сразу на поле боя, или ритуально в жертву богам (индейцы майя, китайцы). В рабовладельческий период, они уже представляли экономическую ценность и им сохраняли жизнь, а их убийство, даже по необходимости, считалось «диким и аморальным». Так же менялось и отношение к покоренному населению. Походы египетских фараонов имели целью просто грабеж, и с населением тогда «не церемонились». А вот уже римляне предпочитали даже сохранять местную власть, поскольку получали выгоду от эксплуатации покоренной страны — налоги, разделение труда и пр. Походы монголов в XIII веке сопровождались уже непривычной для того времени резней. Это объясняли какой-то особой жестокостью монголов. А дело было в отсталости кочевого монгольского общества, которое не могло использовать мужчин-военнопленных. Поэтому их просто убивали, а женщин и мужчин-ремесленников оставляли.

И всё же остаётся вопрос: «Есть ли в морали что-то трансцендентное?». Мораль — это атрибут любой разумной цивилизации? Если да, то существует ли что-либо общее в морали всех цивилизаций, исходящее от разума как такового? Существует, если у разума во Вселенной есть миссия. Какая? Создавать то, что не может создать природа, в том числе создавать себя. Отсюда следует, возможно, универсальная для всех цивилизаций моральная норма: «Каждый разумный субъект — это целый мир».

URSS

Бог создал человека, чтобы он создавал то, что не может создать Бог.

ГЛАВА 11

Гипотеза бога как универсальной структуры

Как уже отмечалось, в терминах математической теории структур познание — это представление материальной системы (частности реальности) идеальной системой — конституентом «Я» (см. *5.1. Познание*). Такая идеальная система, будучи абстрактной структурой, может мыслиться частностью бытия идеального как сущее. При этом, мы остаемся в рамках материализма, не допускающего бытие идеальное в ипостаси существование.

Однако, признавать или нет ипостась бытия идеального как существование — это вопрос выбора, поскольку можно предложить такие формы бытия идеального, что дилемма его существования в принципе неразрешима для человеческого сознания (см. ниже). Но если нельзя что-то гарантированно отрицать, уже есть основание это «что-то» хотя бы гипотетически предположить. Более того, такая гипотеза может быть научной, если она разрабатывается в рамках принятой научной методологии (см. *5.4. Конвенциальное знание*).

К тому же, человеческое сознание даёт пример идеальной системы, об ипостаси существование которой в определенном смысле можно говорить (см. *4.3. Онтология сознания*). Его сущее состоит в том, что это — абстрактная структура, и в таком качестве оно есть частность бытия идеального как сущее, представляемого абстрактной универсальной структурой. А ипостасью существование человеческого сознания является его интенциональность, которая, если и определяется, то не исчерпывается тем, что она — дериватив материальной системы.

Поэтому давайте, допустим гипотетически бытие идеальное как существование.

По отношению к человеческому сознанию бытие идеальное в этом случае выступает как ещё одна сторона, превращающая диаду «Я» — «не-Я» в триаду: «Я», сознаваемое «не-Я» и неосознаваемое бытие идеальное.

При этом, по отношению к «Я» бытие идеальное не может быть объектом соотнесений, иначе оно было бы частностью осознаваемого «не-Я». Оно отчуждено от «не-Я», иначе через «не-Я» оно стало бы осознаваемым, то есть, опять же, частностью «не-Я». Следовательно, бытие идеальное отчуждено от реальности и в общем от бытия материального.

Таким образом, бытие идеальное представляется как своего рода трансцендентный абсолют, о котором «Я» никак не может судить, поскольку он в принципе не осознаваем. Не исключено, что такое бытие идеальное отчуждено и от какого-либо «Я». Но в этом случае его даже гипотетическое допущение теряет смысл.

Однако возможен вариант, что бытие идеальное не отчуждено от «Я», если допустить соотнесения, объекты которых лежат в «Я», а субъектом является бытие идеальное. Правда, это предполагает, что бытие идеальное наделено интенциональностью. В философии существуют разные понимания такого бытия идеального — «Бог», «Дух». Трактуемое как абстрактная универсальная структура такое бытие идеальное вполне отвечает представлению о своего рода *абсолютном универсальном сознании*, ипостасью существование которого является трансцендентная (в отличие от человеческого сознания) интенциональность. Поэтому будем называть его «*Оно*». Если же в понятии интенциональности делать акцент на аспекте субъективной обусловленности, то более адекватным термином, инкорпорирующим эту характеристику, является *Бог*, особо, при этом, подчеркнув, что его концепция не имеет никакого отношения к религии (см. *4.4. «Я» и «не-Я»*).

Не будучи для «Я» объектом соотнесений, такое «Оно» им не осознается и, с одной стороны, выступает в отношении «Я» как своего рода трансцендентное подсознание, а с другой, имеет место представление «Я» и как сущее, и как существование в качестве конституента «Оно». В частности, это предполагает, что интенциональность «Я» как конституента «Оно» является трансцендентной.

Такого рода отношение «Оно» с «Я» создаёт возможность опосредованного через «Я» отношения «Оно» с «не-Я». А именно, образ «не-Я» в «Я», представленного как конституент «Оно», становится образом «не-Я», в том числе реальности, в «Оно». Это позволяет говорить даже о способности «Оно» (Бога) познавать через человеческие и другие разумные «Я» бытие материальное, от которого оно напрямую отчуждено.

Обсудим, каков может быть характер отчуждения «Оно» (бытия идеального) и бытия материального. Возможно, оно обусловлено различием ипостасей существование бытия идеального и бытия материального. В терминах структур и то, и другое как сущее представляются универсальными структурами: бытие идеальное — абстрактная универсальная структура на универсуме V всех множеств, а бытие материальное — универсальная структура на абсолютном универсуме U объединения всех множеств. При этом, бытие материальное как сущее представимо конститу-

ентом бытия идеального при каноническом вложении U в V (см. *4.2. Онтология бытия*). Поэтому нет отчуждения бытия идеального и бытия материального как сущее, в качестве структур. Однако бытие как существование — онтологическая концепция, вне рамок математической теории структур. И ипостась существование бытия идеального — это его интенциональность, а бытия материального — то, что это структура с носителем. Как такое различие могло возникнуть?

С современной физической точки зрения, выраженной, например, в единой теории фундаментальных (электромагнитного, слабого, сильного) взаимодействий, эволюция физического мира представляет собой цепочку своеобразных «фазовых переходов» (см. *7.2. Материя как иерархия структур*). Более того, нами была выдвинута гипотеза, что им предшествовал ещё один «фазовый переход» — разделение пространства (геометрии) и физической материи (см. *Дополнение II. Категория праспиноров*). Однако можно пойти дальше и предположить, что первоначальным «фазовым переходом» было именно отчуждение бытия идеального и бытия материального.

Допустим, в частности, следующий вариант такого «фазового перехода». В математике «множество» и «элемент» — два разных фундаментальных понятия. Однако в рамках аксиоматики фон Неймана—Бернайса—Гёделя элементы $s = [S]$ универсума всех множеств V представляют множества S, и на них определена структура булевой алгебры с операциями суммы (симметрической разности множеств) $[S] + [S'] = [(S \cup S') - (S \cap S')]$ и умножения (пересечения множеств) $[S][S'] = [S \cap S']$, а также отношение порядка $[S] \le [S']$ — включения множеств $S \subseteq S'$) (см. *6.1. Эмпиричность теории множеств*). Более того, например, отображение элементов $s \to s'$ класса V не может быть тождественно на всех других его элементах, поскольку предполагает отображение множеств $\{s\} \to \{s'\}$, состоящих из этих элементов, а, следовательно, и отображение элементов $[\{s\}] \to [\{s'\}]$ класса V, представляющих эти множества, и т. д. Рассмотрим класс одноточечных множеств $W \subset V$, образованный всеми максимальными элементами V по отношению порядка $\le$, то есть такими, что, если $s \le s'$, то $s = s'$. Он не замкнут относительно операции сложения булевой алгебры на V, но инвариантен относительно операции умножения.

Класс W — собственный, поскольку существует вложение $\gamma : s \to [\{s\}]$ класса V в W. Как уже отмечалось, это вложение — биекция, так как по самому построению универсума фон Неймана V для всякого элемента $w \in W$ найдется подмножество $S \subset V$, такое что $w = [\{[S]\}]$. Следует, однако, подчеркнуть, что представление $w = [\{[S]\}]$ не определено канонически и зависит от модели V, а потому и биекция $\gamma : V \to W$ не является канонической.

URSS

Обратно, сопоставим каждому элементу $w = [\{x_w\}] \in W$ элемент x_w, из которого состоит множество $\{x_w\}$, представляемое элементом $w = [\{x_w\}]$. Такие элементы x_w, $w \in W$, образуют собственный класс — абсолютный универсум $U = \bigcup\limits_{w \in W} \{x_w\}$, такой что всякое множество является его подмножеством. Мы имеем его каноническое вложение $\pi : x_w \to w$ на класс W в V и биекцию $\gamma^{-1} \circ \pi$ на V. Однако, эта биекция не является канонической (независимой от модели V), и поэтому U не наследует структуры на V.

Возвращаясь теперь к трактовке бытия идеального как абстрактной универсальной структуры на универсуме всех множеств V и бытия материального как универсальной структуры на абсолютном универсуме U, сопоставление $w \to x_w$ каждому одноточечному множеству составляющего его элемента мы можем рассматривать как отчуждение U (бытия материального) от V (бытия идеального).

Впрочем, остановимся на этом…

URSS

ДОПОЛНЕНИЕ I

Моя научная биография как опыт методологии познания

Родился 13 марта 1950 г. в Москве.

В 1967 г. окончил 2-ю Московскую математическую школу с серебряной медалью и поступил на физический факультет МГУ.

В 1973 г. с отличием окончил физический факультет, а в 1976 г. — его аспирантуру на кафедре теоретической физике под руководством профессора Д. Д. Иваненко.

С 1976 г. работаю на кафедре теоретической физики Физического факультета МГУ, в настоящее время — ведущий научный сотрудник.

В 1989–2004 гг. был также a visiting professor at University of Camerino (Italy).

Область научных интересов: геометрические методы теории поля, классической и квантовой механики; теория калибровочных полей; теория гравитации.

Дипломная работа: «*Конечномерные представления конформной группы*» (1973 г.).

Кандидатская диссертация: «*Формализм расслоений в некоторых моделях теории поля*» (1980 г.).

Докторская диссертация: «*Хиггсовская модель классического гравитационного поля*» (1998 г.).

Студенческий период и первые работы

В 1967 г. я окончил Московскую математическую школу № 2 с серебряной медалью и поступил на физический факультет МГУ. Освоившись, начал заниматься самообразованием и ходил на кружок теоретической физики, проводившийся для студентов младших курсов профессором Д. Д. Иваненко, его сотрудниками и аспирантами. Я изначально хотел заниматься теоретической физикой, но на факультете было три теоретических кафедры. Под влиянием кружка, его широкой тематики, я решил поступать

URSS

на кафедру теоретической физики к Д. Д. Иваненко. Время от времени даже посещал его научный семинар.

В середине третьего курса, весной 1970 г., я распределился на кафедру теоретической физики. На кафедру был конкурс, туда, как и на другие теоретические кафедры, стремились попасть лучшие студенты курса. На кафедру зачисляли 12 человек, и надо было пройти собеседование. В ходе собеседования я почувствовал, что меня заведомо берут — у меня был всего один потерянный балл (одна четверка за все экзаменационные сессии), да и, по-видимому, Д. Д. Иваненко предупредил, что я — к нему.

Поступив на кафедру, я в качестве будущего дипломника официально вошел в группу Иваненко: ходил на его научные семинары, продолжал самообразование, присматривался, кто чем в его группе занимается.

На 4-м курсе я «прикрепился» к Андрею Владимировичу Булинскому. Он окончил физический факультет в 1968 г., но в аспирантуру не попал и работал на кафедре высшей математики Московского физико-технического института. Он продолжал сотрудничать с Д. Д. Иваненко и занимался алгебраической квантовой теорией: алгебры квантовых наблюдаемых, их представления, квантовые динамические системы и т. п. Всё это было за рамками учебных курсов физфака. Работая с ним, я получил хорошую подготовку в этой области, которая мне потом очень пригодилась. В одной из своих статей, вышедшей в журнале *Теоретическая и математическая физика* в 1972 г., он даже меня благодарит за «полезные дискуссии» [*Булинский*]. Хотя не помню, чтобы от меня действительно был какой-либо толк. Алгебраическая квантовая теория — предмет сложный, математически изощренный [*Список научных публикаций*, [13]]. Моего уровня было явно недостаточно, чтобы получить по этой теме какие-то оригинальные результаты и подготовить дипломную работу. К тому же сам Андрей Владимирович всё реже и реже стал приходить в группу и на семинары Иваненко, по-видимому, потеряв надежду вернуться на факультет. Поэтому Д. Д. Иваненко предложил мне, хотя бы из прагматических соображений, сменить тему и научного руководителя (не будучи кандидатом наук, А. В. Булинский формально не мог стать научным руководителем моей дипломной работы).

В то время в науке и на семинарах Иваненко активно обсуждалась конформная теория поля на основе так называемой 15-параметрической *конформной группы*, включающей группы Лоренца и Пуанкаре. Естественно встал вопрос о построении спинорного представления этой группы, чем я и занялся. Моим научным руководителем был «назначен» докт. физ.-мат. наук Д. Ф. Курдгелаидзе — многолетний сотрудник Д. Д. Иваненко, с которым он развивал нелинейную мезонную и спинорную теории. Но моя чисто алгебраическая по своим методам тема была от него далека, он мало чем мог мне помочь, и я работал фактически самостоятельно. Я построил спинорное представление конформной группы на 8-спинорах, которые также реализовывали *CPT*-преобразования, и написал для них конформно-

инвариантное уравнение Дирака. Мне эта работа до сих пор нравится. Я доложил её на 3-й Советской гравитационной конференции в октябре 1972 г., а ещё до этого направил статью в журнал «Вестник МГУ, физика и астрономия» [27]. Однако по какой-то, я не помню, причине эта статья вышла гораздо позже — только в марте 1975 г. В январе 1973 г. я защитил дипломную работу «Конечномерные представления конформной группы», руководителями которой значились Д. Д. Иваненко и Д. Ф. Курдгелаидзе.

Чтобы завершить эту тему, я в 1972 г. построил также нелинейные представления конформной группы методом так называемых «*нелинейных реализаций*». Он был незадолго до этого разработан, позволял строить представление группы как расширение представления её картановской подгруппы и был весьма тогда популярен. Его изложение можно найти в нашей книге «Калибровочная теория гравитации» [4]. Эта работа была доложена на Всесоюзном симпозиуме «Новейшие проблемы гравитации» в Москве и вышла в Тезисах его докладов в 1972 г. Она стала моей первой научной публикацией, но развития не получила. Вопреки надеждам конформная группа так пока и «не заиграла».

Окончив физический факультет в феврале 1973 г., я в апреле был зачислен в аспирантуру на кафедру теоретической физики к Д. Д. Иваненко. Работа по конформной группе была завершена, и передо мной открылся широкий спектр направлений исследования. Интересуясь очень многим, Д. Д. Иваненко предоставлял полную свободу деятельности своим аспирантам. Моим непосредственным руководителем был он сам, между нами никто не стоял, и я мог делать, что хочу.

А хотел я разное. Меня интересовали выходы за рамки стандартной теории поля на базе новых для теоретической физики математических методов: алгебраических, геометрических и топологических. Д. Д. Иваненко это поощрял, поскольку было ясно, что стандартная теория поля свои возможности исчерпала. И я занялся поиском и освоением таких новаторских методов. Хотя риск был большой — могло ничего не получиться, ни публикаций, ни диссертации. Как потом оказалось, с публикациями проблем не было, а вот кандидатская диссертация задержалась до 1980 г.

Второй период (1973–1978 гг.)

Калибровочная теория гравитации: попытки построения

Поступив в 1973 г. в аспирантуру, я среди прочего обратился к калибровочной теории гравитации. Это направление развивалось в группе Иваненко в начале 60-х годов, но потом заглохло с отъездом Г. А. Соколика, хотя продолжало обсуждаться на семинаре Иваненко, поскольку вело к столь увлекавшей его теории гравитации с кручением.

URSS

К тому времени уже стало ясно, что калибровочная теория адекватно формулируется в аппарате *расслоений*, хотя исчерпывающее изложение этой формулировки появилось позднее в двух обзорных статьях: M. Daniel and C. Viallet в *Reviews of Modern Physics* [*Даниэль*] и T. Eguchi, P. Gilkey and A. Hanson в *Physics Reports* [*Eguchi*] в 1980 г. Поэтому я активно занялся изучением дифференциальной геометрии, подспорьем чему стал вышедший в 1975 г. перевод книги Р. Зуланке и П. Винтгена «Дифференциальная геометрия и расслоения» [*Зуланке*]. Известный двухтомник Ш. Кобаяси и К. Номидзу [*Кобаяси*] в русском переводе появился только в 1981 г. Параллельно я занимался общей топологией по книгам Н. Бурбаки [*Бурбаки, 1968*] и К. Куратовского [*Куратовский, 1966*].

Моя первая статья по калибровочной теории гравитации [25] вышла в сентябре 1974 г. её автором был я, но Д. Д. Иваненко для надёжности привлек в качестве моего соавтора Б. Н. Фролова, который до этого занимался калибровочной теорией гравитацией. В статье уже упоминаются расслоения. Через три месяца вышла моя вторая статья [26], где я уже был единственным автором.

К тому времени, когда я обратился к калибровочной теории гравитации, проблеме было уже почти 20 лет [22]. В 1954 г. C. Yang and R. Mills предложили первую калибровочную теорию для группы симметрий $SU(2)$ [*Иваненко, 1964*]. А уже в 1956 г. R. Utiyama обобщил эту теорию для произвольной группы Ли внутренних симметрий G, включая теорию гравитации как калибровочную теорию группы Лоренца [*Иваненко, 1964*]. Естественно было предположить, что калибровочная теория гравитации должна содержать в себе эйнштейновскую ОТО. В ОТО гравитационное поле отождествляется с псевдоримановой метрикой, а симметриями являются общие ковариантные преобразования. Однако трудность возникла со статусом псевдоримановой метрики и общих ковариантных преобразований, которым нет аналога в *калибровочной схеме Янга—Миллса*, поскольку *калибровочные поля* представляются связностями на расслоении $Y \to X$ со структурной группой G, а калибровочные преобразования — это так называемые вертикальные автоморфизмы Y, проектируемые на тождественное отображение X [9]. Общие ковариантные преобразования таковыми не являются. Чтобы преодолеть эти трудности в работе Утиямы, в начале 60-х T. Kibbl, D. Sciama и др. предложили трактовать гравитацию, представленную тетрадным полем, как калибровочное поле для группы трансляций [*Hehl*]. Всё равно это выходило за рамки калибровочной схемы Янга—Миллса—Утиямы для внутренних симметрий, поскольку предполагало нетождественные преобразования базы X тензорных расслоений. Я тоже начал с этой модели, но вскоре отказался от неё, поскольку она не укладывалась в формализм расслоений. Почти четыре года я безрезультатно возился с другими вариантами, пока не пришел к трактовке гравитации как хиггсовского поля, которая впервые была изложена в моей статье [33] в 1978 г., но об этом ниже.

Аспирантура закончилась в 1976 г., и, хотя диссертацию я к тому времени не представил, меня оставили работать на факультете в группе Иваненко. Почему? Я думаю потому, что ряду эвристических идей Д. Д. Иваненко я сумел придать строгую математическую форму. Ведь в 70-е я занимался не только калибровочной теорией гравитации. И Иваненко в меня поверил. Во-первых, ему понравился формализм расслоений своей универсальностью и то, что в его группе работают такими современными для того времени методами. Во-вторых, мы разработали модель праспинора как своего рода продолжение его единой спинорной теории (см. *Дополнение II. Категория праспиноров*). В-третьих, нами была реанимирована его давняя идея дискретного пространства (см. *Дополнение II. Дискретное пространство-время*). Он начал со мной публиковаться [29, 30, 34, 35, 38, 39], а Д. Д. Иваненко, заботясь о своём реноме, был весьма щепетилен, когда соглашался на соавторство.

Другие модели

В течение пяти лет с 1973 г. по 1978 г., помимо калибровочной теории на геометрическом языке расслоений, я предпринял целый ряд попыток выйти за рамки традиционных математических методов в теоретической физике и постараться применить новый тогда для теоретиков (но не для математиков) математический аппарат. Я полагал, что вряд ли добьюсь успеха там, где десятки и сотни теоретиков до меня, используя известные методы, ничего не достигли, и поэтому могу рассчитывать на результат только, если применю что-то, ранее не рассматривавшееся. Я углубился в алгебру и топологию. Из всех этих изысканий четыре темы были доведены до публикаций.

Сосредоточившись в основном на классической теории поля, где применяются геометрические методы, я всегда держал в голове квантовую теорию и квантовую теорию поля. Начиная ещё со своей студенческой работы с А. В. Булинским, я продолжал заниматься квантовыми алгебрами, в частности, полями C*-алгебр и их возможным применением. Результатом стала статья «К проблеме гравитационного вакуума» [33] и тезисы «The geometrization of quantum systems by C*-algebra bundles» на 9-й Международной гравитационной конференции в Иене (ГДР) в 1980 г., в которой я участвовал и выступал с докладом. Уже много позже, в 00-е годы, я использовал этот формализм в развернутом виде для описания квантовой неконсервативной механики в своих книгах [15, 16, 19] и ряде статей.

Формулировка калибровочной теории на языке расслоений ввела в рассмотрение новые физические объекты — топологические заряды и числа. Дело в том, что характеристические классы неэквивалентных расслоений над многообразием X являются топологическими инвариантами,

URSS

то есть они одни и те же для гомотопически эквивалентных многообразий X, и, более того, они выражаются через когомологические классы Де Рама так называемых характеристических форм, построенных из напряженности калибровочных полей на X [9]. Такие характеристические формы называются *топологическими зарядами*, а их интегралы по многообразию X, если оно компактно, — *топологическими числами*. Примерами таких топологических чисел служат заряд *монополя*, инстантонное число и т. п. Возникла идея, что те или иные характеристики элементарных частиц являются именно такими топологическими числами и хорошо бы описать системы с переменными значениями топологических характеристик. Была предложена такая модель, где топологические характеристики принимали свои значения с определенной вероятностью согласно некоторой функции распределения. Д. Д. Иваненко это понравилось, мы опубликовали одну работу [38], но дальше дело не пошло, поскольку так и не удалось предложить динамику возможных изменений топологии. Позже я вернулся к описанию топологических переходов, но уже в стандартной теории гравитации.

В 1930 г. Д. Д. Иваненко и В. А. Амбарцумян выдвинули идею дискретности пространства-времени внутри атомного ядра, чтобы посредством введения фундаментальной длины решить некоторые проблемы, возникшие в то время в физике ядра. Идея дискретности тогда конструктивного развития не получила, но многие ученые время от времени к ней обращались из общих соображений, ограничиваясь, как правило, рассмотрением решеток. Своего рода её воплощением оказалась теория калибровочных полей на решетках, которая позволила делать некоторые стимулирующие расчеты. В 1965 г. вышла историко-обзорная книга А. Н. Вяльцева «Дискретное пространство-время» [*Вяльцев*]. Д. Д. Иваненко сам неоднократно возвращался к этой идеи. В 70-е г. у него этой тематикой занимался Г. Горелик, но ничего нового не получилось. Всё это естественно обсуждалось на семинарах Иваненко, и эти обсуждения побудили меня задуматься над проблемой. Я сразу отказался от дискретного пространства-времени как дискретного топологического пространства (к которому относятся и решетки). Тогда что? Я предложил вполне несвязные топологические пространства, которые возникают в целом ряде теоретических моделей (таковым является, например, множество рациональных чисел) (см. *Дополнение II. Дискретное пространство-время*). Д. Д. Иваненко это опять же понравилось, и были опубликованы две работы [35, 37]. Более того, это была настолько хорошо сформулированная математическая модель, что мою заметку «Дискретное пространство-время» взяли в издававшуюся тогда очень ответственную пятитомную «Математическую энциклопедию» [36].

Однако наиболее обещающей из выдвинутых мною тогда моделей была идея праспиноров (которая без особого развития и сейчас остаётся

«обещающей») [29, 34, 47]. Известно, что корневые диаграммы простых комплексных алгебр Ли допускают группы отражений — группы Вейля, которые являются конечными группами Кокстера. Более того, классификация простых комплексных алгебр Ли и их вещественных подалгебр проводится именно по конечным группам Кокстера [*Бурбаки, 1972*]. Они же являются группами симметрий весовых диаграмм неприводимых представлений этих алгебр Ли, к которым относятся как алгебры внутренних, так и пространственных симметрий. Возникла идея, что можно заменить алгебры и группы Ли симметрий соответствующими конечными *группами Кокстера*. Порождающие элементы *s* этих групп обладают свойством, что $ss = 1$, и все разнообразие групп Кокстера обусловлено тем, как разные порождающие элементы между собой не коммутируют. *Минимальная группа Кокстера* $\mathbf{Z}_2$ содержит два элемента $(s,1)$ и служит группой симметрий 2-спинора. Давайте предположим, что физический мир в своей основе состоит из таких спиноров, назовем их праспинорами, так что при взаимодействии их группы преобразований Кокстера перестают коммутировать, порождая всё известное многообразие симметрий элементарных частиц (см. *Дополнение II. Категория праспиноров*). Более того, можно пойти ещё дальше и отождествить элементы минимальной группы Кокстера $(s,1)$ с простейшей логической системой суждений («нет», «да»). Д. Д. Иваненко эта модель очень понравилась. Он видел в ней перспективу продолжения своей и Гейзенберга единой *нелинейной теории поля*, которая к тому времени отошла в сторону в свете теории калибровочных полей. Стало ясно, что взаимодействие частиц описывается обменом медиаторов — калибровочных полей, а не нелинейностями, хотя и не везде. Например, взаимодействие поля куперовских пар в теории сверхпроводимости — это нелинейность, а может быть таковы и взаимодействие хиггсовского вакуума, и праспиноров. Модель праспиноров представлена в нашей книге «Гравитация» [3] и в статьях [29, 34, 47], но дальнейшего развития тогда не получила, поскольку не ясно, как описывать динамику систем с конечными группами.

Хотя в более общем плане это побудило дать классификацию калибровочных полей с дискретными группами симметрий [44]. Соответствующие расслоения — это накрытия. Такие поля отвечают за эффекты типа Аронова—Бома, квантования магнитного заряда и ведут к модели «флаксонов». Я их неоднократно упоминаю в своих книгах [9, 15].

Вся моя деятельность в период 1973–1978 гг., в конце концов, была оформлена в весьма эклектичную кандидатскую диссертацию «Формализм расслоений в некоторых моделях теории поля», которую я защитил в 1980 г. Но в ней уже приводится калибровочная модель гравитации как хиггсовского поля, которая составила главный предмет третьего периода моей научной деятельности в 1978–1990 гг.

Третий период (1978–1990 гг.)

Калибровочная теория гравитации: решение проблемы

В 70-е в теории поля уже было фольклором, что спонтанное нарушение симметрий сопровождается хиггсовскими и голдстоуновскими полями. Это подсказывалось *теоремой Голдстоуна* в квантовой теории, уже упоминавшимся методом нелинейных реализаций групп (частным случаем индуцированных представлений), составляло хиггсовский механизм генерации массы частиц в объединенных калибровочных моделях фундаментальных взаимодействий. *Спонтанное нарушение симметрий* — это квантовый эффект, когда вакуум (или основное состояние) инвариантен относительно не всей группы преобразований, а только её некоторой подгруппы точных симметрий [*Гриб*]. Проблема состояла в том, как описывать спонтанное нарушение симметрий в классической калибровочной теории. Это нужно, потому что лагранжиан в производящем функционале для функций Грина квантовых полей — лагранжиан классических полей, и в нём фигурирует классическое хиггсовское поле. Классическая калибровочная теория описывалась в формализме расслоений, и естественно возникал вопрос, чем является хиггсовское поле в этом формализме.

Как я уже упоминал, в 1975 г. вышел русский перевод книги Р. Зуланке и П. Винтгена «Дифференциальная геометрия и расслоения» [*Зуланке*], один из параграфов которой был посвящен так называемым *редуцированным G-структурам*, когда структурная группа главного *реперного расслоения LX* над многообразием *X* редуцирована к некоторой своей замкнутой подгруппе *H*. В общем случае произвольного главного расслоения *P* со *структурной группой* Ли *G* такая конструкция *редукции структурной группы* описывалась в книге Н. Стинрода «Топология косых произведений» 1953 г. [*Steenrod*], которую я нашел в библиотеке мехмата МГУ. Известная теорема устанавливает, что такая редукция имеет место тогда и только тогда, когда существует глобальное сечение *h* фактор-расслоения $P/H \to X$ [*Кобаяси*]. Поскольку это сечение принимает значения в фактор-пространстве *G/H*, можно считать, что оно представляет классическое *хиггсовское* (или *голдстоуновское*) *поле*. Если $P = LX$ — реперное расслоение и *H* — группа Лоренца *SO*(*1,3*), тогда *h* — глобальное сечение расслоения *LX/SO*(*1,3*) — это *псевдориманова метрика* на многообразии *X*. Поэтому я предположил, что псевдориманова метрика — гравитационное поле — имеет статус хиггсовского в калибровочной теории гравитации. Это было опубликовано в моих тезисах на 8-й Международной гравитационной конференции в Канаде в 1977 г. и в статьях [33, 40].

Д. Д. Иваненко такая трактовка гравитации понравилась, поскольку ещё в середине 60-х он предположил, что гравитационное поле может быть по своей физической природе голдстоуновским из-за нарушения про-

странственно-временных симметрий, обусловленных кривизной. Однако такое нарушение симметрий (и, следовательно, хиггсовский характер гравитационного поля) не следовало из калибровочного принципа, и надо было подвести под него принципиальную основу. И я такой принцип нашел — принцип эквивалентности, но переформулированный в геометрических терминах.

В вышеупомянутой книге Зуланке—Винтгена G-структуры рассматривались как своего рода реализация идеи *геометрии инвариантов* Клейна—Чженя, а именно: если структурная группа расслоения G редуцирована к своей подгруппе H, то существует атлас этого расслоения с H-значными функциями перехода, и, следовательно, на этом расслоении определены H-инварианты. В то время на семинаре Д. Д. Иваненко не раз обсуждался *принцип эквивалентности* в теории гравитации, его различные варианты (слабейший, слабый, среднесильный, сильный и т. д.) [3]. Все эти варианты слишком физические по своим формулировкам, чтобы служить основанием для математической калибровочной теории гравитации. Они характеризуют возможность перехода от ОТО к СТО в некоторой системе отсчета. Трактуя СТО как геометрию инвариантов группы Лоренца, я пришел к идее сформулировать принцип эквивалентности в духе геометрии инвариантов Ф. Клейна как требование существования лоренцевских инвариантов в некоторой системе отсчета, что, в свою очередь, предполагает редукцию структурной группы реперного расслоения LX над многообразием X к группе Лоренца, а, следовательно, и существование гравитационного поля на X [43, 46, 48] Эта формулировка пришла мне в голову в троллейбусе, когда я возвращался с семинара Иваненко. Я горжусь ею, потому что это был образцовый творческий акт, концентрированный по теме, четкий по результату, занявший всего 20 минут.

Такой *геометрический принцип эквивалентности* подвел фундамент под нашу трактовку гравитационного поля как хиггсовского в калибровочной теории гравитации. *Калибровочная теория гравитации* в целом сложилась. Это была *аффинно-метрическая теория*, динамическими переменными в которой служили псевдориманова метрика как хиггсовское поле и общая линейная связность как калибровочный потенциал. Мы с Д. Д. Иваненко опубликовали обзор [55] в *Physics Reports* в 1983 г., на который теперь традиционно ссылаются в числе основополагающих работ по калибровочной теории гравитации. Предложенная нами калибровочная теория гравитации была также изложена в книгах [3, 4].

Наш вариант калибровочной теории гравитации был замечен, никем не опровергался, но и не то, чтобы стал широко признанным. Теоретики не спешили отказаться от трактовки гравитационного поля как калибровочного поля трансляций. Хотя ещё в 1982 г. я опубликовал статью [54], в которой специально доказывал в формализме расслоений, что отождествление тетрадного поля с так называемой припаивающей формой

(трансляционной частью общей аффинной связности) является математической ошибкой.

Поэтому я занялся исследованием возможной физической интерпретации трансляционной компоненты аффинной связности. Я знал вышедшую в 1983 г. книгу A. Kadic, D. Edelen, «A Gauge Theory of Dislocations and Disclinations» (ее русский перевод появился в 1987 г. [*Кадич*]), в которой калибровочное поле трансляций на 3-мерном многообразии описывало дислокации в теории сплошных сред. Опираясь на этот результат, я разработал модель, где трансляционная часть аффинной связности на 4-мерном многообразии описывала новую гипотетическую структуру — своего рода дислокации этого многообразия [70, 72, 75]. В частности, они могли быть ответственны за юкавскую добавку к ньютоновскому потенциалу — так называемую «*пятую силу*» [78, 82, 87]. В то время такого рода поправки активно искали, но в результате, по крайней мере на лабораторных расстояниях, ничего так и не нашли.

Геометрический принцип эквивалентности обуславливает не только существование гравитационного поля на многообразии, но и пространственно-временную структуру на нем. Дело в том, что, если структурная группа реперного расслоения LX редуцирована к группе Лоренца (пусть g — соответствующее гравитационное поле), то она всегда редуцирована и к своей максимальной компактной подгруппе $SO(3)$. Соответствующим хиггсовским полем является 3-мерное пространственно-подобное подрасслоение F касательного расслоения TX многообразия X, которое задаёт его пространственно-временное расщепление $TX = F \underset{X}{\oplus} R$, то есть *пространственно-временную структуру* на X. Если подрасслоение F инволютивно, то мы имеем ассоциированное с данным гравитационным полем g пространственно-временное слоение X. На основании этого у меня возникла идея описывать гравитационные сингулярности как особенности пространственно-временных слоений, тем более что наиболее признанный критерий *гравитационных сингулярностей* по так называемой b-неполноте геодезических [*Хокинг*] имеет ряд недостатков [51, 53]. Была дана классификация сингулярностей пространственно-временных слоений, включая нарушения причинности, топологические переходы через критические точки и каустики слоений [59, 61, 68]. Но и этот способ описания гравитационных сингулярностей не идеален. Например, каустики пространственно-временного слоения могут иметь место и в случае регулярного гравитационного поля.

Одним из наиболее активно развиваемых обобщений теории гравитации является *супергравитация*. Однако она в основном строится как обобщение калибровочной теории группы Пуанкаре путем расширения её алгебры Ли до той или иной супералгебры [*Nieuwenhuizen*]. Получаемые в таком подходе хиггсовские суперполя, трактуемые как супегравитационное

поле, не имеют геометрической природы. Поэтому я предположил, что следует строить теорию супергравитации как *суперметрики* на супермногообразии, вводя её из условия редукции структурной супергруппы соответствующего суперрасслоения. Это было сделано в рамках существовавшего тогда формализма супермногообразий [66, 67]. Я вернулся к этой проблеме позже, почти через десять лет, уже на другом математическом уровне.

И, всё-таки, завершенной картины калибровочной теории гравитации не получалось. Во-первых, была непонятной физическая подоплёка геометрического принципа эквивалентности — он выглядел формальным. Во-вторых, оставалось неясным, что является калибровочными преобразованиями в калибровочной теории гравитации. В эйнштейновской ОТО, которую должна включать в себя калибровочная теория гравитации, таковыми служат общековариантные преобразования. Но что такое эти преобразования в формализме расслоений?

Понадобилось ещё почти 10 лет и более продвинутый математический аппарат, чтобы всё встало на свои места.

Квантовая теория поля: производящий функционал как мера

Тот факт, что гравитационное поле по своей физической природе является хиггсовским, обратил моё внимание на общую проблему описания *хиггсовского вакуума*. В объединенных моделях фундаментальных взаимодействий его возникновение трактуется как своего рода фазовый переход при определенной энергии (температуре). Я предпринял различные попытки подступиться к этой проблеме [52, 57, 62, 71]. В частности, разрабатывалась идея, что хиггсовский вакуум является источником хиггсовского гравитационного поля [79]. Однако сколько-нибудь содержательная теория хиггсовского вакуума до сих пор не построена.

Занимаясь проблемой хиггсовского вакуума, я столкнулся с тем, что, вообще, нет какой-либо математически корректной формулировки квантовой теории поля: ни аксиоматической, ни в форме теории возмущений. Последняя строится в терминах так называемых функциональных интегралов, но они не являются какими-либо истинными интегралами, а их свойства постулируются по аналогии с интегралами на конечномерных пространствах, чтобы воспроизводить фейнмановские диаграммы. Занимаясь известной конструкцией ГНС (Гельфанда—Наймарка—Сигала) в алгебраической квантовой теории, я знал о возможностях её расширения на ненормированные инволютивные алгебры и, в частности, на алгебру свободных полей, представляемых пробными (быстро убывающими на бесконечности) функциями [13]. Эти функции образуют ядерное пространство S. Непрерывными формами на этой алгебре являются обобщенные функции, составляющие дуальное пространство S'. Проблема была с описанием системы взаимодействующих полей, рождающихся и исчезающих в какие-то

моменты времени. Такая система характеризуется хронологическими формами на пространстве S, но они не являются непрерывными. Однако я обнаружил, что, если перейти *виковским поворотом* к евклидовым полям, на них хронологические формы (евклидовы функции Грина) оказываются непрерывными. Более того, они задаются производящим функционалом, который в силу известной теоремы Бохнера представляется некоторой мерой на пространстве обобщенных функций S' [13]. Эта конструкция закладывает хорошую математическую основу квантовой теории поля [83, 89]. Она была расширена на фермионные поля [86]. Однако проблема состоит в том, что выписать эти меры в явном виде, за исключением гауссовых мер для полей без взаимодействия, невозможно. Кроме того, свойства этих мер отличаются от тех, которые приняты для функциональных интегралов в известной пертурбативной квантовой теории поля. Например, не существует трансляционно инвариантной меры Лебега на S', и я даже пробовал использовать этот факт для описания хиггсовского вакуума [92].

В дальнейшем, я неоднократно возвращался к попыткам построить производящий функционал в квантовой теории поля как меры, но пока безуспешно. Впрочем, на языке мер удалось описать неэквивалентные представления алгебр канонических коммутационных соотношений, моделируемых над ядерными пространствами [136].

Четвертый период (1990–1999 гг.)

Формализм многообразий струй

Осенью 1987 г. в рамках научного сотрудничества между МГУ и University of Camerino (Italy) в Москву приехал профессор Luigi Mangiarotti. Он делал доклад на семинаре Иваненко. Доклад был геометрический, по аппарату расслоений, но я мало что понял. А весной 1989 г. я сам поехал к нему на месяц в Италию. С тех пор наше сотрудничество продолжается более 20 лет. Я открыл новые для себя геометрические методы, которые позволили дать исчерпывающую математическую формулировку классической теории поля и классической нерелятивистской и релятивистской механики.

Занимаясь калибровочной теорией в формализме расслоений, я столкнулся с тем, что динамика этой теории формулируется в традиционной форме — функционал действия, вариации полей, вариационные уравнения и т. п., не связанной с геометризацией. В то же время, в математике уже давно был разработан аппарат многообразий струй для теории нелинейных дифференциальных операторов, дифференциальных уравнений и лагранжевой теории [*Виноградов*]. Однако он был совершенно неизвестен теоретикам, да и сейчас остаётся малоизвестным. Именно его рассказывал Luigi Mangiarotti на семинаре Иваненко.

URSS

Суть формализма *многообразий струй* состоит в том, что сечения расслоения $Y \to X$ отождествляются, если их значения и значения их частных производных до некоторого порядка k совпадают в точке x многообразиях X [*Saunders*]. Ключевым является тот факт, что множество всех таких классов образует гладкое конечномерное многообразие $J^k Y$, которое называется многообразием струй k-порядка сечений расслоения $Y \to X$. Это позволяет при анализе дифференциального уравнения k-порядка рассматривать не некое бесконечномерное функциональное пространство гладких сечений, а конечномерное многообразие струй, и задавать *дифференциальное уравнение* как некоторое его подмногообразие. Соответственно *дифференциальный оператор* на сечениях $Y \to X$ определяется как отображение многообразия $J^k Y$ в некоторое расслоение $E \to X$, а *лагранжиан* k-порядка L — как n-форма ($n = \dim X$) на $J^k Y$.

Более того, *связности на расслоении* $Y \to X$ тоже выражаются в терминах многообразий струй: они представляются сечениями расслоения $J^1 Y \to Y$ [*Saunders*]. Таким образом, многообразия струй составляют язык дифференциальной геометрии. Дело в том, что линейные связности, как и линейные дифференциальные операторы, можно описывать разными способами, а нелинейные — только в формализме многообразий струй.

В 1989–90 гг. я был занят освоением формализма многообразий струй, а мои первые работы, где он использован, это статьи 1991–92 гг. по классической теории спонтанного нарушения симметрий [93, 94], многоимпульсной гамильтоновой теории поля [95, 96] и книга по калибровочной теории гравитации [6].

В то время моё внимание также привлек формализм дифференциальных операторов на модулях над произвольной алгеброй [10, 23]. Он тоже включал аппарат струй модулей, а также вел к дифференциальной геометрии (дифференциальные формы, связности и пр.) на модулях. Этот формализм, в частности, лежит в основе некоммутативной геометрии. Его связь с традиционной дифференциальной геометрией на расслоениях выражается известной Serre—Swan theorem (обобщенной мной на некомпактные многообразия [16]), что всякий проективный модуль конечного ранга над кольцом гладких функций на многообразии X является модулем сечений некоторого векторного расслоения над X, и обратно. В дальнейшем я неоднократно обращался к этому формализму для построения геометрии на градуированных многообразиях и для геометрической формулировки неавтономной квантовой механики [15, 16, 18, 19].

Лагранжева теория поля

В тот период я в основном ограничивался рассмотрением лагранжева формализма первого порядка и его применением к полевым моделям,

URSS

которые в основном являются лагранжевыми теориями именно первого порядка. Обычно уравнения Эйлера—Лагранжа в формализме многообразий струй выводятся из так или иначе сформулированного вариационного принципа. Но я брал за основу так называемую первую вариационную формулу, в которой уже фигурировал оператор Эйлера—Лагранжа. Он может быть определен алгебраически, без апелляции к вариационному принципу, как оператор когранницы так называемого вариационного комплекса, к чему я пришел несколько позже.

Первая вариационная формула также ведет непосредственно к *лагранжевым законам сохранения*. Дело в том, что в формализме многообразий струй инфинитезимальный генератор однопараметрической группы преобразований представляется векторным полем u на конфигурационном пространстве, и лагранжиан L инвариантен относительно этих преобразований, если его производная Ли вдоль u равна 0. Тогда из первой вариационной формулы следует, что сохраняется соответствующий *ток симметрий* вдоль u [10, 18].

В первую очередь, я переформулировал калибровочную теорию в формализме многообразий струй, когда калибровочные поля (связности на главном расслоении $P \to X$ со структурной группой G) представляются сечениями расслоения связностей $C = J^1P/G \to X$. Ключевым было получение канонического разложения конфигурационного пространства J^1C калибровочной теории [10, 15, 18].

Ещё один результат следовал из рассмотрения законов сохранения в калибровочной теории. Дело в том, что по определению *ток энергии-импульса* — это ток симметрии вдоль векторного поля u на C, которое является поднятием некоторого ненулевого векторного поля на X. Такое поднятие не единственно, и поэтому ток энергии-импульса не единственен. Два разных таких поднятий u и u' отличаются на вертикальное векторное поле $v = u - u'$ на C, имеющее нулевую проекцию на X. Токами симметрий вдоль вертикальных полей являются *нётеровские токи* внутренних симметрий. Поэтому разные токи энергии-импульса отличаются друг от друга нётеровскими токами симметрий. Более того, всякий сохраняющийся ток энергии-импульса в общем случае имеет такую нётеровскую составляющую, обусловленную внутренними симметриями лагранжиана [18, 107].

Все эти изыскания по лагранжевой теории поля в формализме многообразий струй были изложены в книге [7] в 1993 г. и в последующих книгах [8, 10, 18].

Геометрия композиционных расслоений

Формализм струй, когда я с ним познакомился, был вполне разработан в приложении к теории дифференциальных операторов и дифференциальных уравнений, дифференциальной геометрии, а также, как я уже

упомянул, в основных аспектах к лагранжевому формализму. Казалось, что мне как теоретику его надо только применить к конкретным полевым моделям: калибровочной теории, теории гравитации. Однако пришлось заняться и рядом принципиальных вопросов: геометрия композиционных расслоений, лагранжева теория в формализме вариационного бикомплекса, тождества Нётер и вторая теорема Нётер.

Композиционным расслоением называется композиция расслоений $Y \to \Sigma \to X$. Такие расслоения фигурируют в целом ряде моделей теории поля и в механике. В механике, например, это — модели с параметрами, представляемыми сечениями расслоения $\Sigma \to X$. В теории поля это — системы с фоновым полем и модели с нарушением симметрий, в частности, теория гравитации, когда сечения расслоения $Y \to \Sigma$ — это хиггсовские поля. Суть состоит в том, что, если h — сечение расслоения $\Sigma \to X$, то сужение $Y \to \Sigma$ на подмногообразие $h(X)$ в Σ является подрасслоением $h^*Y \to X$ расслоения $Y \to X$, описывающим систему в присутствии данного фонового поля (или параметрической функции) $h(X)$.

Была известна связь между многообразиями струй расслоений $Y \to \Sigma$, $Y \to X$ и $\Sigma \to X$ [*Saunders*], из которой я получил соотношение между связностями на этих расслоениях и, главное, новый дифференциальный оператор на сечениях расслоения $Y \to \Sigma$, названный вертикальным ковариантным дифференциалом, определяемым связностью A на $Y \to \Sigma$. Дело в том, что, будучи ограниченным на $h(X)$, этот оператор совпадает с обычным ковариантным дифференциалом, задаваемым ограничением связности A на $h^*Y \to X$. Таким образом, этот вертикальный ковариантный дифференциал должен фигурировать при описании динамики полевых систем на композиционном расслоении. Эта конструкция была опубликована в 1991 в статье [94] и уже применена в книге [6] для описания спиноров в гравитационном поле. Впоследствии я неоднократно её использовал в различных моделях теории поля и механики. Одной из них, ключевой для построения калибровочной теории гравитации, является классическая теория поля с нарушением симметрий.

Полевые модели с нарушением симметрий и классические хиггсовские поля

Я уже упоминал книгу Р. Зуланке и П. Винтгена «Дифференциальная геометрия и расслоения», один из параграфов которой был посвящен так называемым G-структурам, когда структурная группа реперного расслоения редуцирована к своей подгруппе. Это связывалось с идеологией геометрии инвариантов Ф. Клейна. В более общем плане под G-структурой понимается, когда структурная группа Ли G главного расслоения $P \to X$ редуцируема к своей замкнутой подгруппе (следовательно подгруппе Ли) H.

Это означает, что существует атлас главного расслоения P и ассоциированных с ним расслоений с H-значными функциями перехода или, эквивалентно, что имеется главное подрасслоение P' расслоения P со структурной группой H. Тогда может существовать ассоциированное с P' расслоение $Y \to X$, типичный слой V которого допускает действие не группы G, а только её подгруппы H. Сечения такого расслоения описывают материальные поля в ситуации нарушения симметрий с группой G до подгруппы точных симметрий H. При этом, ключевым является тот факт, что редукция структурной группы G к подгруппе H происходит тогда и только тогда, когда существует глобальное сечение h фактор-расслоения $P/H \to X$ с типичным слоем G/H. Более того, имеет место взаимно однозначное соответствие между сечениями h фактор-расслоения $P/H \to X$ и H-подрасслоениями P^h расслоения P. Сечения фактор-расслоения $P/H \to X$ трактуются как классические хиггсовские поля, так что сечения ассоциированного с P^h расслоения $Y^h \to X$ описывают материальные поля s с точной симметрией H в присутствии хиггсовского поля h. Эта трактовка в начале 80-х была предложена мной (и независимо польским теоретиком А. Траутманом, который, однако, потом этим вопросам не занимался) [46, 48]. Проблема, однако, состояла в том, что для разных хиггсовских полей h расслоения $Y^h \to X$, вообще говоря, неэквивалентны. Поэтому материальные поля s с точной симметрией H могут рассматриваться только в паре с определенным хиггсовским полем h. Естественно встает вопрос, как описать всю совокупность материальных полей с нарушенной симметрией и хиггсовских полей.

Для этого я предложил рассмотреть композиционное расслоение $P \to P/H \to X$, где $P \to P/H$ — главное расслоение со структурной группой H, и ассоциированное с $P \to P/H$ расслоение $Y \to P/H$ с типичным слоем V. Тогда сечения композиционного расслоения $Y \to P/H \to X$ описывают весь комплекс материальных и хиггсовских полей в случае спонтанного нарушения симметрий [93, 94, 153]. Действительно, в силу упомянутых выше свойств композиционных расслоений, ограничение на подмногообразие $h(X)$ в P/H расслоения $Y \to P/H$ – это в точности расслоение $Y^h \to X$. Лагранжиан такого комплекса выражается через связность на расслоении $Y \to P/H$ и вертикальный ковариантный дифференциал.

Вся эта конструкция была применена мною для описания дираковских спинорных полей в гравитационном поле.

Калибровочная теория гравитации: окончательная формулировка

Предложенная мною и Д. Д. Иваненко в начале 80-х калибровочная модель гравитации, где метрическое гравитационное поле описывалось как хиггсовское, имела тот недостаток, что в ней не определялись калибровоч-

ные преобразования теории гравитации. Вопрос обсуждался [60, 80]. Поскольку калибровочная теория гравитации, очевидно, должна включать в себя эйнштейновскую ОТО, её калибровочными преобразованиями являются *общековариантные преобразования*, но не было ясности в определении самих этих общековариантных преобразований. Ответ был найден опять же в рамках формализма расслоенных пространств. Это — преобразования, которые характеризуют так называемые натуральные расслоения [*Kolár*].

Ограничимся рассмотрением однопараметрических групп преобразований и их инфинитезимальных генераторов, каковыми служат векторные поля. Пусть $Y \to X$ — расслоение. Инфинитезимальными генераторами однопараметрических групп диффеоморфизмов его базы X являются векторные поля на X. Такое векторное поле может быть разными способами, например посредством связности, поднято до векторного поля на расслоении Y. Но это поднятие $u \to u'$ в общем случае не будет *функториальным*, то есть не является гомоморфизмом алгебры Ли $T(X)$ векторных полей на X в алгебру Ли $T(Y)$ векторных полей на Y, поскольку коммутатор поднятий $[u',v']$ не обязательно равен поднятию коммутатора $[u,v]'$ векторных полей u и v на X. Однако существуют расслоения, которые допускают функториальное поднятие Fu векторных полей u на базе X, при котором имеет место упомянутый выше гомоморфизм алгебры Ли $T(X)$ в $T(Y)$. Эти расслоения называются натуральными. К ним относятся касательное TX и кокасательное T^*X расслоения над X, их всевозможные тензорные произведения, расслоение линейных касательных реперов LX и все ассоциированные с ним расслоения, но не только они. Именно функториальное поднятие Fu на натуральное расслоение Y векторных полей на его базе X представляют собой генераторы однопараметрических групп общековариантных преобразований Y. Таким образом, теория гравитации должна строиться как классическая теория поля на натуральных расслоениях [22, 102, 108, 111, 129]. Отсюда, в частности, вытекает следующее.

Группа общековариантных преобразований является подгруппой группы автоморфизмов $Aut(LX)$ реперного расслоения LX. Но лагранжианы теории гравитации, в частности лагранжиан ОТО, инвариантны только относительно общековариантных преобразований, а не общих реперных преобразований из $Aut(LX)$. Поэтому гравитационное поле (псевдориманова метрика), в отличие от хиггсовских полей в калибровочной теории внутренних симметрий, не сводится калибровочными преобразованиями к метрике Минковского, и поэтому она является динамической переменной.

Ток энергии-импульса в теории гравитации — это ток симметрии именно вдоль функториального поднятия Fu векторных полей u на X. Он приводит к обобщенному суперпотенциалу энергии-импульса Комара [104, 108].

Однако спинорные расслоения, сечения которых характеризуют дираковские фермионные поля, не являются натуральными и не реализуют общековариантные преобразования. Поэтому встает вопрос об описании

фермионных полей в теории гравитации. Поскольку эти поля допускают только преобразования Лоренца, имеет место ситуация спонтанного нарушения симметрий. В этом случае *спинорное поле* задаётся только в паре с определенным гравитационным полем g, а именно сечениями *спинорного расслоения* S^g, ассоциированного с редуцированным лоренцевским подрасслоением $L^g X$ реперного расслоения LX. Тогда в соответствии с общей схемой описания спонтанного нарушения симметрий в классической теории поля вся совокупность спинорных и гравитационных полей представляется сечения композиционного расслоения $S \to LX / SO(1,3) \to X$, где $S \to LX / SO(1,3)$ — ассоциированное с $LX \to LX / SO(1,3)$ спинорное расслоение [22, 111, 112]. В частности, расслоение $S \to X$ является натуральным, и может быть определен ток энергии-импульса спинорных полей.

Проясняется и хиггсовский характер гравитационного поля. Он выражается в том, что для разных гравитационных полей g и g' спинорные расслоения S^g и $S^{g'}$ не эквивалентны, поскольку не эквивалентны представления в них касательных ковекторов матрицами Дирака и, соответственно, не эквивалентны операторы Дирака.

Ковариантная гамильтонова теория поля

Классическая теория поля формулируется как лагранжева теория. Все фундаментальные полевые уравнения являются уравнениями Эйлера—Лагранжа, получаемые как вариационные уравнения некоторого лагранжиана. В то же время классическая автономная (консервативная) механика допускает как лагранжеву, так и гамильтонову формулировки, которые, однако, в общем случае не эквивалентны. Гамильтонова формулировка механики основана на симплектической геометрии, которой наделяется фазовое пространство [11]. Естественно, ещё давно встал вопрос о гамильтоновой формулировке теории поля. Однако непосредственное распространение симплектического гамильтонова формализма на теорию поля, когда канонические моменты отвечают производным полевых функций только по времени, ведет к бесконечномерным фазовым пространствам, где каноническими переменными являются функции в каждый данный момент времени. Уравнения Гамильтона на таком пространстве не являются обычными дифференциальными уравнениями и никак не сопоставимы уравнениям Эйлера—Лагранже теории поля. Такая симплектическая гамильтонова конструкция используется исключительно в квантовой теории поля для получения коммутационных соотношений операторов квантовых полей.

В то же время конечномерное фазовое пространство можно получить, если рассматривать канонические моменты, отвечающие производным полевых функций по всем пространственно-временным координатам. Такой подход получил название *ковариантной гамильтоновой теории поля*. Рас-

URSS

сматриваются разные варианты такой формулировки — полисимплектическая, мультисимплектическая, k-симплектическая, в зависимости от выбора фазового пространства и вводимой на нем структуры, обобщающей симплектическую геометрию. Этой проблемой в 1990 г. заинтересовался мой студент, а потом сотрудник Олег Захаров, который в 1992 г. опубликовал самостоятельно статью в *Journal of Mathematical Physics*. Но у него возникла проблема построения гамильтоновых уравнений поля, аналогичных лагранжевым. Я эти уравнения построил, и затем вплотную заинтересовался этой тематикой.

Мы развивали *полисимплектический гамильтонов формализм* на расслоениях, который в случае расслоений над временной осью $X = R$ приводил к гамильтоновой механике с обычными каноническими переменными. Была построена глобально определенная полисимплектическая форма на фазовом пространстве, развит полисимплектический гамильтонов формализм и при заданном лагранжиане построены соответствующие гамильтонианы. Основные результаты были представлены в [95, 96] в 1992 г., а в 1993 в [97] была опубликована уже вполне развернутая теория. Главная проблема состояла в том, что лагранжев и гамильтонов формализмы на расслоениях не эквивалентны, если только лагранжиан не является гиперрегулярным, то есть, когда отображение Лежандра конфигурационного пространства в фазовое — это диффеоморфизм. В общем случае, одному и тому же лагранжиану могут соответствовать разные гамильтонианы, или вообще не один. Исчерпывающие соотношения между лагранжевым и полисимплектическим гамильтоновым формализмами можно дать в случае так называемых полурегулярных и почти регулярных лагранжианов. Основные теоремы были приведены в работах [97, 100] и книгах [7, 8], а в окончательном виде эти соотношения были опубликованы в книге [10] в 1997 г. и в статье [119] в 1999 г.

Полисимплектический гамильтонов формализм рассматривался в применении к основным полевым моделям, которые все являются почти регулярными. Изучалась возможность квантования полей в ковариантных канонических переменных [101, 145], однако вопрос остаётся открытым, поскольку пока до конца не изучены дополнительные калибровочные симметрии, возникающие у полевых моделей в этих переменных.

Нерелятивистская классическая механика: геометрическая формулировка

Когда во второй половине 90-х мои итальянские коллеги предложили мне заняться классической нерелятивистской механикой, я удивился: что в этой области можно сделать нового. Однако оказалось, что классическая механика представляет себе более сложный объект для геометрической формализации, чем классическая теория поля.

Гамильтонова формулировка консервативной классической механики на симплектическом многообразии Q давно и хорошо разработана [*Abraham*]. Она распространяется на неконсервативные системы, если не рассматривать зависящие от времени преобразования. Фазовым пространством для такой системы является прямое произведение $M \times R$, наделённое структурой Пуассона с симплектическими слоями (M,t) [11].

У меня возникла идея описать нерелятивистскую механику в полном виде, допускающем зависящие от времени преобразования, как частный случай классической теории поля на расслоениях $Q \to R$ над осью времени $\boldsymbol{R}$. Правда, существенное отличие от классической теории поля состоит в том, что связности на расслоениях $Q \to R$ всегда плоские, и поэтому они не являются динамическими переменными. Они характеризуют системы отсчета в нерелятивистской механике. Была разработана геометрическая формулировка гамильтоновой (на фазовом пространстве — вертикальном кокасательном расслоении V^*Q расслоения $Q \to R$) и лагранжевой (на пространстве скоростей J^1Q) неконсервативной механики относительно произвольных систем отсчета [110, 115] и в самом общем виде механики, описываемой динамическими уравнениями второго порядка [118, 122].

В наиболее полном виде эта формулировка была представлена в 1998 г. в книге [12] и в 2010 г. в книге [19] (см. также обзор [173]).

Пятый период (1999–2012 гг.)

Классическая теория поля: полная геометрическая формулировка

Применение формализма расслоенных пространств и многообразий струй позволило подойти к построению исчерпывающей геометрической формулировки классической теории поля, в которой классические поля представляются сечениями гладких расслоений, а сама классическая теория поля — это лагранжев формализм на гладких расслоениях. При этом надо было довести до полноты сам этот формализм.

Во-первых, мне не нравился *вариационный принцип*, поскольку он исходит из не известно на чём основанного условия минимальности функционала действия.

Во-вторых, дополнительного исследования требовали калибровочные преобразования, которые в квантовой теории заменяются БРСТ преобразованиями, общий случай редуцированных вырожденных лагранжевых систем и вторая теорема Нётер для них.

В-третьих, всё надо было сформулировать в глобальном виде на произвольных многообразиях.

URSS

Однако конкретным толчком к разработке развернутой классической теории поля послужили известный в квантовой теории поля БРСТ формализм для гамильтоновых систем и попытки создания его лагранжева аналога.

Наиболее полно геометрическая формулировка классической теории поля изложена в книге [18] и в резюмирующей статье [163].

а) Вариационный бикомплекс

Поскольку рассматривается *лагранжев формализм* произвольного конечного порядка, его удобно развивать на многообразии Фреше струй бесконечного порядка $J^\infty Y$ расслоения $Y \to X$ из-за наличия операций, повышающих порядок. Он формулируется в алгебраических терминах вариационного бикомплекса, не апеллируя к вариационному принципу. На многообразии $J^\infty Y$ вводится алгебра внешних дифференциальных форм Ω^∞ как прямой предел алгебр внешних дифференциальных форм на многообразиях струй конечного порядка. её элементы зависят от струй ограниченного порядка. На этой алгебре определяется так называемый *вариационный бикомплекс*, элементами которого являются лагранжианы L, а одним из операторов когранницы — вариационный *оператор* δL *Эйлера—Лагранжа*, ядро которого $\delta L = 0$ задаёт *уравнение Эйлера—Лагранжа* [10, 127].

В качестве следующего этапа необходимо было определить когомологии вариационного бикомплекса. Это оказалось весьма сложной технической задачей. Для её решения я использовал то, что алгебра Ω^∞ внешних форм является подалгеброй более общей алгебры, элементы которой зависят от струй, порядок которых ограничен только локально. На этой алгебре также задаётся вариационный бикомплекс, когомологии которого определяются согласно абстрактной теореме де Рама. Было доказано, что когомологии вариационного бикомплекса на обеих алгебрах совпадают [126, 127, 131].

Следствием этого результата стало решение глобальной обратной вариационной задачи (какие лагранжианы L вариационно тривиальны, то есть $\delta L = 0$) и глобальная *первая вариационная формула* $dL = \delta L + d_H J$, из которой следует первая теорема Нётер.

б) Лагранжева теория чётных и нечётных полей на градуированных многообразиях

Построение лагранжевой теории поля предполагает рассмотрение полей как с чётной, представляемых сечениями расслоений, так и нечётной грассмановой градуировкой. К последним относятся дираковские фермионные поля, духовые поля и антиполя в БРСТ формализме. Предлагаются разные варианты определения нечётных полей на градуированных много-

URSS

образиях и супермногообразиях. И те, и другие многообразия описываются в терминах пучков градуированных коммутативных алгебр [*Bartocci*]. Однако градуированные многообразия характеризуются пучками на гладких многообразиях, а супермногообразия получаются склеиванием пучков на супервекторных пространствах. Рассматривая нечётные поля на гладком многообразии, я следовал вышеупомянутой Serre—Swan theorem, обобщив её на градуированные многообразия [16, 150]. Поэтому лагранжев формализм в терминах вариационного бикомплекса был обобщен на градуированные многообразия [149, 150, 158, 172].

Согласно известной Batchelor's theorem [*Bartocci*] всякое *градуированное многообразие* изоморфно так называемому простому градуированному многообразию, характеристическим пучком которого является пучок сечений внешнего произведения некоторого векторного расслоения. В физических приложениях этот изоморфизм обычно изначально задан, и можно ограничиться рассмотрением таких простых градуированных многообразий. Мною была развита геометрия простых градуированных многообразий в терминах геометрии модулей над градуировано коммутативными кольцами и, в частности, построена дифференциальная градуированная алгебра внешних форм на градуированном многообразии, определены связности (отличающиеся от связностей на градуированных расслоения) и т. п. [15, 18, 172, 315].

Ещё одной проблемой было задание струй нечётных полей. Формализм струй градуированных расслоений для этой цели не подходил, поскольку предполагал рассмотрение полей не на гладких, а на градуированных многообразиях. Поэтому был использован аппарат дифференциальных операторов и модулей струй опять же на модулях над градуировано коммутативными кольцами [149, 158, 172].

в) Редуцированные вырожденные лагранжевы системы. Обобщенная вторая теорема Нётер

Всякий оператор Эйлера—Лагранжа удовлетворяет *тождествам Нётер*, которые, однако, могут быть тривиальными. Если они нетривиальны, лагранжева система называется вырожденной. Нетривиальные тождества Нётер всегда подчиняются тождествам Нётер первого порядка, которые тоже могут быть тривиальными. Если они нетривиальны, вырожденная лагранжева система называется редуцированной, и т. д. Проблема состояла в том, чтобы разделить тривиальные и нетривиальные тождества Нётер нулевого и высшего порядков. Такое разделение было осуществлено в терминах гомологий. В результате, в самом общем случае удалось дать описание редуцированной вырожденной лагранжевой системы. Иерархия её тождеств Нётер при определенном когомологическом условии описывается точным коцепным комплексом нечётных и чётных антиполей, называемым the Kozul—Tate complex [150, 160].

URSS

Это описание было распространено на тождества Нётер для произвольного дифференциального оператора [151].

Получив иерархию тождеств Нётер для редуцированных вырожденных лагранжевых систем, естественно было обобщить на нее *вторую теорему Нётер*, связывающую тождества Нётер с калибровочными преобразованиями, что и было сделано. Обобщенная вторая теорема Нётер сопоставляет этому комплексу коцепную последовательность, коцепной оператор которой, называемый калибровочным оператором, состоит из калибровочных симметрий лагранжиана системы, калибровочных симметрий первого и высшего порядков, параметризуемых чётными и нечётными полями духов [160, 164]. Эта коцепная последовательность и the Kozul—Tate complex тождеств Нётер полностью характеризуют вырожденность лагранжевой системы, что необходимо для её квантования.

г) Лагранжева БРСТ теория поля

БРСТ (Бекки—Рюэ—Стора—Тютин) теория возникла в рамках квантовой теории калибровочных полей, когда учет вырожденности лагранжиана Янга—Миллса приводил к его замене в производящем функционале некоторым модифицированным лагранжианом, зависящим от духовых полей и инвариантным относительно БРСТ преобразований. Эти преобразования получались заменой функций параметров в калибровочных преобразованиях нечётными духовыми полями и их расширением на сами эти духовые поля. БРСТ теория преимущественно развивается в рамках гамильтонова формализма со связями, но разрабатывался также её лагранжев вариант. Основными работами в этом направлении были статьи J. Gomis, J. Parìs, S. Samuel в 1995 г. [*Gomis*] и G. Barnish, F. Brandt, M. Henneaux в 2000 в *Physics Reports* [*Barnich*], а также предшествующие последней работы этих авторов в *Communication in Mathematical Physics*. В этих работах, однако, использовалось так называемое условие регулярности, наследовавшееся из БРСТ теории гамильтоновых систем со связями и не применимое к тождествам Нётер, которые, в отличие от алгебраических условий связи, являются дифференциальными тождествами. Кроме того, эта теория развивалась для полей на R^n.

Я интересовался БРСТ теорией, как своего рода «предквантовой» теорией поля — необходимым этапом к процедуре BV (Batalin—Vilkovisky) квантования полей. Поскольку БРСТ оператор нильпотентен, мы в 2000 г. провели расчет его относительных и итерированных когомологий на произвольном многообразии X [126]. В 2005 г. я вернулся к БРСТ теории в связи с рассмотрением общего типа калибровочных преобразований, зависящих от производных полей произвольного порядка [149]. Позже, занявшись тождествами Нётер, я отказался от уже упоминавшегося условия регулярности и ввел новое когомологическое условие.

В 2008 г., получив полное описание редуцированных вырожденных лагранжевых систем, я занялся исследованием их БРСТ расширения. При этом, было показано, что такое расширение возможно, если калибровочный оператор продолжается до нильпотентного БРСТ оператора, действующего на духовые поля. В этом случае вышеупомянутая коцепная последовательность для калибровочного оператора становится комплексом, называемым БРСТ комплексом, а исходный лагранжиан допускает соответствующее БРСТ расширение, зависящее от исходных полей, антиполей, индексирующих тождества Нётер нулевого и высшего порядков, и духовых полей, параметризующих калибровочные нулевого и высшего порядков симметрии [160]. Для ряда полевых моделей такое БРСТ расширение было построено.

д) Обобщенная первая теорема Нётер для калибровочных симметрий

Доказанная обобщенная вторая теорема Нётер привела к рассмотрению наиболее общего вида симметрий лагранжевых систем.

Понятие *калибровочного преобразования* пришло из калибровочной теории Янга—Миллса на главных расслоениях. Там это — автоморфизм главного расслоения. Однако рассмотрение общих лагранжевых систем на расслоении $Y \to X$ потребовало расширить это понятие. А именно, пусть $E \to X$ — некоторое векторное расслоение. Инфинитезимальным калибровочным преобразованием на расслоении $Y \to X$ называется дифференциальный оператор на произведении $E \times Y$ со значениями в векторных полях на *Y*, то есть отображение $u: J^k(E \times Y) \to TY$ [149, 164]. Это определение формализует условие, что калибровочное преобразование зависит от функций параметров (сечений расслоения $E \to X$) и их производных и в общем случае от производных полевых функций. При этом, в обобщенной второй теореме Нётер функции параметров калибровочного преобразования заменяются нечётными *духовыми полями* [164].

Следует отметить, что калибровочные преобразования не обязательно образуют замкнутую алгебру. Было показано, что это так, если калибровочный оператор расширяется до нильпотентного БРСТ оператора [164].

Калибровочное преобразование *u* называется *калибровочной симметрией* лагранжиана *L*, если производная Ли лагранжиана *L* вдоль *u* равна нулю. В этом случае выполняется обобщенная *первая теорема Нётер*. Она является следствием первой вариационной формулы и устанавливает существование сохраняющегося тока вдоль симметрии *u*. При этом, в самом общем случае калибровочной симметрии лагранжиана системы полей показано, что соответствующий сохраняющийся ток сводится к *суперпотенциалу*, то есть имеет вид $J^\mu = W^\mu + \partial_\nu U^{\mu\nu}$, $U^{\mu\nu} = -U^{\nu\mu}$, где W обращается в ноль на уравнениях Эйлера—Лагранжа [165].

Квантовая неавтономная механика: геометрическая формулировка

Формулировка неавтономной классической механики в терминах расслоений побудило распространить эту формулировку на неавтономную квантовую механику.

Хотя существуют разные процедуры квантования: алгебраического, геометрического, деформационного и др. [16], я обратился к методу геометрического квантования, обобщающего каноническое квантование на произвольное симплектическое многообразие и в менее распространенном варианте расширенного на пуассоновы многообразия.

Я разработал геометрическое квантование симплектических слоений, которое, в сравнении с геометрическим квантованием пуассоновых многообразий, имело то важное преимущество, что при ограничении на каждый лист симплектического слоения оно приводило к его квантованию [16, 130]. Этот метод геометрического квантования был применим именно к нерелятивистской механике, фазовое пространство V^*Q которой — это именно симплектическое слоение. Результатом стало квантование неавтономной механики в терминах гильбертовых расслоений над осью времени $\boldsymbol{R}$ [16, 19, 130]. Причем, поскольку разные связности на конфигурационном пространстве $Q \to R$ характеризуют разные системы отсчета, можно сопоставить квантования, например операторы Гамильтона, в разных классических системах отсчета [19, 157].

Механические системы с параметрами

Важным примером неавтономных систем в механике являются системы с зависящими от времени параметрами. Меня они привлекали тем, что в таких системах возможен топологический эффект — *геометрическая фаза Берри*.

Для описания механических систем с параметрами было предложено применить формализм композиционных расслоений. Конфигурационное пространство такой системы представляется композиционным расслоением $Q \to \Sigma \to R$, где сечения расслоения $\Sigma \to R$ характеризуют зависящие от времени параметры [19, 124]. Ключевым является то, что её лагранжиан и гамильтониан выражаются через вертикальный ковариантный дифференциал и зависят от связности на расслоении $Q \to \Sigma$. Такая связность задаёт *оператор голономии* (часть оператора эволюции, зависящую от производных функций параметров) и определяет вышеупомянутую геометрическую фазу Берри. Однако, если не прибегать к адиабатическому условию, выделить эту фазу можно только, если оператор голономии коммутирует с динамической частью оператора эволюции.

URSS

В гамильтоновой формулировке фазовое пространство системы с зависящими от времени параметрами представляет собой симплектическое слоение на листы в фиксированный момент времени и с фиксированными значениями параметров. Поэтому к нему может быть применена процедура геометрического квантования симплектических слоений. В результате получаем квантовую систему, характеризуемую расслоением на гильбертовы пространства над базой Σ, связностью на котором является квантовый оператор эволюции, включающий квантовый оператор голономии [19, 132].

Впоследствии в качестве примера я рассмотрел вполне интегрируемые гамильтоновы системы с параметрами. В этом случае эволюция переменных «действие» осуществляется только оператором голономии, который определяет на них геометрическую фазу Берри [19, 143].

Релятивистская механика: геометрическая формулировка

Струи сечений расслоения являются частным случаем струй подмногообразий. Я обратил на них внимание ещё в середине 90-х и использовал для формулировки релятивистской механики [10, 12].

В отличие от нерелятивистской, релятивистская механика допускает преобразования времени, зависящие от пространственных координат. Поэтому она формулируется в терминах одномерных подмногообразий конфигурационного многообразия Q, когда пространством нерелятивистских скоростей является многообразие струй первого порядка $J^1_1 Q$ одномерных подмногообразий многообразия Q.

Были развиты гамильтонов формализм релятивистской механики и её квантование методом геометрического квантования [140].

Проблема, однако, возникла с построением лагранжева формализма релятивистской механики, поскольку $J^1_1 Q$ не является расслоением над $\boldsymbol{R}$, на котором такой формализм мог бы быть определен. Эту трудность удалось преодолеть только 10 лет спустя [18, 169] и в результате завершить геометрическую формулировку релятивистской механики [19, 167].

Интегрируемые гамильтоновы системы

Изучение интегрируемых гамильтоновых систем консервативной механики не находилось в главном русле моих исследований, и они попали в моё поле зрения случайно. Тем более, что трудно было предположить возможность обобщения фундаментальной *теоремы Лиувилля—Арнольда* о *координатах «действие—угол»* в окрестности инвариантного подмногообразия *вполне интегрируемой гамильтоновой системы* [*Арнольд*].

Эта теорема была установлена для случая компактных *инвариантных подмногообразий*. Сначала в ней доказывается, что такое компактное инвариантное подмногообразие — это многомерный тор, а потом этот факт ис-

пользуется тем простым образом, что всякая функция на таком торе — циклическая.

Мне показалось, что это условие можно обойти. Не предполагая изначально компактности инвариантного подмногообразия вполне интегрируемой гамильтоновой системы, можно показать, что это — многомерный цилиндр, а потом удаётся построить в его окрестности обобщенные координаты «действие—угол». Всё это заняло меньше месяца. Приведу хронологию связанных с этим событий.

Я прилетел в Италию 21.11.2001, и 03.12.2001 мы опубликовали в *arXiv* статью о геометрическом квантовании [230], где ещё нет и речи о вполне интегрируемых гамильтоновых системах. Как пример такого квантования я заинтересовался вполне интегрируемыми гамильтоновыми системами, и 14.12.2001 мы опубликовали статью об их квантовании [231]. Наверно, тогда и возникла идея обобщить теорему Лиувилля—Арнольда. Однако 19.12.2001 я опубликовал в *arXiv* ещё одну работу [232] по стабильности Ляпунова, а затем 21.12.2001 я вернулся в Москву. В январе–феврале 2002 г. я сделал ещё четыре новые работы, совсем не связанные с интегрируемыми гамильтоновыми системами. Последняя из них [236], весьма важная, была представлена в *arXiv* 06.02.2002, а 18.02.2002 была послана первая статья [237] по интегрируемым гамильтоновым системам с некомпактными инвариантными подмногообразиями. Таким образом, конкретно обобщение теоремы Лиувилля—Арнольда, включая написание статьи, заняло около 10 дней, а 09.03.2002 была представлена уже серьезно проработанная статья на эту тему [133] в *Journal of Mathematical Physics*. Затем, 06.04.2002, я вновь прилетел в Италию, и 24.04.2002 мы послали ещё одну статью [134] в *Journal of Physics A*.

Далее было естественно обратиться к частично интегрируемым гамильтоновым системам, и в 2003 г. мы обобщили на случай некомпактных инвариантных подмногообразий *теорему Нехорошева* [137, 139]. При этом были рассмотрены бигамильтоновы системы, и был описан класс структур Пуассона, относительно которых данная частично интегрируемая гамильтонова система таковой является [139].

Поскольку интегрируемые гамильтоновы системы — это, всё-таки, не мой предмет, в то время я и не подозревал о существовании *суперинтегрируемых гамильтоновых систем*. Они «попались мне на глаза» в 2006 г. во время очередной поездки к моим итальянским коллегам, и мы обобщили характеризующую их *теорему Мищенко—Фоменко* на случай некомпактных инвариантных подмногообразий [154]. Мы опирались на тот факт, что такое подмногообразие фактически является инвариантным подмногообразием некоторой частично интегрируемой гамильтоновой системы, и использовали наше обобщение теоремы Нехорошева.

Полученные нами результаты касались обобщенных координат «действие—угол» в окрестности некомпактного инвариантного многообразия.

Известны были топологические препятствия для существования глобальных координат «действие—угол» для вполне интегрируемых гамильтоновых систем с компактными инвариантными подмногообразиями. Мы расширили эти результаты на общий некомпактный случай [156]. Более того, оказалось, что фазовое пространство суперинтегрируемой системы в общем случае распадается на открытые подобласти, где эта система разная — её интегралы движения образуют разные алгебры Ли [166]. Примером является система Кеплера, чьё фазовое пространство распадается на две области. В одной из них инвариантные подмногообразия — эллипсы, и интегралы движения образуют алгебру Ли $so(3)$, в другой же это — гиперболы, и алгебра Ли интегралов движения — это $so(2,1)$, а граница между этими областями — парабола.

Примером интегрируемых гамильтоновых систем с некомпактными инвариантными подмногообразиями являются неавтономные интегрируемые гамильтоновы системы, инвариантные подмногообразия которых заведомо содержат ось времени. Теория таких интегрируемых гамильтоновых систем была разработана [19, 134, 171].

Используя метод геометрического квантования, мы осуществили квантование в переменных «действие—угол» вполне интегрируемых и суперинтегрируемых гамильтоновых систем [135, 155], включая неавтономные вполне интегрируемые системы [133]. Следует заметить, что, поскольку преобразования между исходными переменными и переменными «действие—угол» не являются линейными, квантования в тех и других переменных неэквивалентны. Однако именно в переменных «действие—угол» удаётся построить неадиабатические классической и квантовый операторы голономии для вполне интегрируемой гамильтоновой системы [16, 19, 143].

В этот период был проведен ещё целый ряд исследований: неавтономная механика с неголономными связями [115], классические и квантовые поля Якоби вполне интегрируемых гамильтоновых систем [138], стабильность по Ляпунову относительно зависящих от времени римановых метрик [235, 239] и др. (см. *Другие опубликованные результаты*).

Следует, однако, признать, что 2011–2012 гг. в значительной степени были посвящены подведению научных итогов и оформлению ранее полученных результатов, часть которых ещё будет опубликована.

Основные научные результаты

Геометрическая формулировка классической теории поля

В отличие от классической и квантовой механики и квантовой теории поля, классическая теория поля, единственная, допускает исчерпывающую математическую формулировку. Она основана на представлении классических полей сечениями гладких расслоений.

Лагранжева теория на расслоениях и грассмановых многообразиях

Поскольку поля представляются сечениями расслоений, лагранжева теория поля строится как лагранжева теория на расслоениях. Стандартной математической техникой для формулировки такой теории являются многообразия струй сечений расслоений. Поскольку рассматривается лагранжев формализм произвольного конечного порядка, его удобно развивать на многообразии Фреше струй бесконечного порядка $J^\infty Y$ расслоения $Y \to X$ из-за наличия операций, повышающих порядок. Он формулируется в алгебраических терминах вариационного бикомплекса, не апеллируя к вариационному принципу. На многообразии $J^\infty Y$ вводится алгебра внешних дифференциальных форм как прямой предел алгебр внешних дифференциальных форм на многообразиях струй конечного порядка. На этой алгебре определяется так называемый вариационный бикомплекс, элементами которого являются лагранжианы L, а одним из операторов когранницы — вариационный оператор Эйлера—Лагранжа δL. Ядро этого оператора задаёт уравнение Эйлера—Лагранжа. Были определены когомологии вариационного бикомплекса, результатами чего являются решение глобальной обратной вариационной проблемы (какие лагранжианы L вариационно тривиальны, то есть $\delta L = 0$) и глобальная первая вариационная формула $dL = \delta L + d_H J$, из которой следует первая теорема Нётер. Построение лагранжевой теории поля предполагает рассмотрение лагранжевых систем как чётных, представляемых сечениями расслоений, так и нечётных грассмановых переменных. Поэтому лагранжев формализм в терминах вариационного бикомплекса был обобщен на грассмановы многообразия.

Обобщенная вторая теорема Нётер для редуцированных вырожденных лагранжевых систем

В общем случае редуцированной вырожденной лагранжевой системы её оператор Эйлера—Лагранжа удовлетворяет нетривиальным тождествам Нётер, которые не являются независимыми, а подчиняются нетривиальным тождествам Нётер первого порядка, удовлетворяющим, в свою очередь, тождествам Нётер второго порядка и т. д. Иерархия этих тождеств Нётер при определенном когомологическом условии описывается точным коцепным комплексом, называемым the Kozul—Tate complex. Обобщенная вторая теорема Нётер сопоставляет этому комплексу коцепную последовательность, коцепной оператор которой, называемый калибровочным оператором, состоит из калибровочных симметрий лагранжиана системы, калибровочных симметрий первого и высшего порядков, параметризуемых чётными и нечётными полями духов. Эта коцепная последовательность и the Kozul—Tate complex тождеств Нётер полностью характеризуют вырожденность лагранжевой системы, что необходимо для её квантования.

URSS

Обобщенная первая теорема Нётер для калибровочных симметрий

В самом общем случае калибровочной симметрии лагранжиана системы полей показано, что соответствующий сохраняющийся ток сводится к суперпотенциалу, то есть имеет вид $J^{\mu} = W^{\mu} + \partial_{\nu} U^{\mu\nu}$, $U^{\mu\nu} = -U^{\nu\mu}$, где слагаемое W обращается в 0 на уравнениях Эйлера—Лагранжа.

Лагранжева БРСТ теория поля

Предварительным шагом для квантования редуцированной вырожденной лагранжевой системы полей является её так называемое БРСТ расширение. Показано, что такое расширение возможно, если калибровочный оператор продолжается до нильпотентного БРСТ оператора, действующего на духовые поля. В этом случае вышеупомянутая коцепная последовательность становится комплексом, называемым БРСТ комплексом, а исходный лагранжиан допускает соответствующее БРСТ расширение, зависящее от исходных полей, антиполей, индексирующих тождества Нётер нулевого и высшего порядков, и духовых полей, параметризующих калибровочные нулевого и высшего порядков симметрии.

Ковариантный (полисимплектический) гамильтонов формализм классической теории поля

Применение симплектического гамильтонова формализма консервативной классической механики к теории поля ведет к бесконечномерному фазовому пространству, когда каноническими переменными являются значения полей в каждый отдельно взятый момент времени. Такой формализм не может быть партнером лагранжевого формализма классической теории поля. Уравнения Гамильтона на таком пространстве не являются обычными дифференциальными уравнениями и никак не сопоставимы уравнениям Эйлера—Лагранжа теории поля. Для теории поля с лагранжианами первого порядка был разработан ковариантный гамильтонов формализм на полисимплектических многообразиях, когда канонические моменты отвечают производным полей по всем пространственно-временным координатам. Лагранжев формализм и ковариантный гамильтонов формализм эквивалентны друг другу для полевых моделей с гиперрегулярными лагранжианами. Исчерпывающее соответствие между ними было установлено в классе почти регулярных лагранжианов, к которому относятся лагранжианы всех основных полевых моделей.

Дифференциальная геометрия композиционных расслоений

В ряде моделей теории поля и механики используются композиционные расслоения $Y \to \Sigma \to X$, когда сечения расслоения $\Sigma \to X$ описывают,

URSS

например, фоновые поля, хиггсовские поля или функции параметров. Это обусловлено тем, что при заданном сечении h расслоения $\Sigma \to X$ индуцированное расслоение $h^*Y \to X$ является подрасслоением расслоения $Y \to X$. Были установлены соотношения между связностями на расслоениях $Y \to X$, $Y \to \Sigma$, $\Sigma \to X$ и $h^*Y \to X$. В результате, для данной связности A на расслоении $Y \to \Sigma$ был определен так называемый вертикальный ковариантный дифференциал D на сечениях расслоения $Y \to X$, такой что его сужение на $h^*Y \to X$ совпадает с обычным ковариантным дифференциалом для связности, индуцируемой на расслоении $h^*Y \to X$ связностью A. Для приложений важно то, что лагранжиан физической модели, рассматриваемой на композиционном расслоении $Y \to \Sigma \to X$, факторизуется именно через вертикальный ковариантный дифференциал D.

Классическая теория хиггсовских полей

Хотя спонтанное нарушение симметрий является квантовым эффектом, было предложено, что в классической калибровочной теории на главном расслоении $P \to X$ оно характеризуется условием редукции структурной группы Ли G этого расслоения к некоторой её замкнутой подгруппе Ли H. Согласно известной теореме такая редукция имеет место тогда и только тогда, когда фактор-расслоение $P/H \to X$ допускает глобальное сечение h, которое интерпретируется как классическое хиггсовское поле. Рассмотрим композиционное расслоение $P \to P/H \to X$ и ассоциированное с $P \to P/H$ расслоение $Y \to P/H$. Это композиционное расслоение $Y \to P/H \to X$, сечения которого описывают систему материальных полей с точной группой симметрий H и хиггсовских полей. Построена лагранжева теория на композиционном расслоении $Y \to P/H \to X$. В частности, лагранжиан материальных полей зависит от хиггсовских полей через вертикальный ковариантный дифференциал, определяемый связностью на расслоении $Y \to P/H$. Примером такой системы материальных и хиггсовских полей являются дираковские спинорные поля в гравитационном поле.

Калибровочная теория гравитации, в которой гравитационное поле описывается как хиггсовское, обуславливающее нарушение пространственно-временных симметрий

Поскольку калибровочной симметрией лагранжианов теории гравитации являются общие ковариантные преобразования, теория гравитации на мировом многообразии X строится как классическая теория поля

в категории так называемых натуральных расслоений над X. Примерами этих расслоений служат касательное TX и кокасательное T^*X расслоения над X, их всевозможные тензорные произведения и расслоение LX реперов в TX. Последнее является главным расслоением со структурной группой $GL(4,\boldsymbol{R})$. Принцип эквивалентности в геометрической формулировке устанавливает редукцию это структурной группы к подгруппе Лоренца $SO(1,3)$, что обуславливает существование глобального сечения g факторрасслоения $LX / SO(1,3) \to X$, каковое является псевдоримановой метрикой, то есть гравитационным полем на X. Это позволяет трактовать метрическое гравитационное поле как хиггсовское. Получаемая теория гравитации является аффинно-метрической, динамические переменные которой — это псевдориманова метрика и общая линейная связность на X. Хиггсовская природа гравитационного поля g проявляется в том, что в разных псевдоримановых метриках представления $dx^\mu \to \gamma^a$ касательных ковекторов dx^μ матрицами Дирака γ^a, а следовательно, операторы Дирака, действующие на спинорные поля, неэквивалентны. Полная система спинорных полей с точной группой симметрий Лоренца и гравитационных полей описывается сечениями композиционного расслоения $S \to LX / SO(1,3) \to X$, где $S \to LX / SO(1,3)$ — спинорное расслоение, ассоциированное с $LX \to LX / SO(1,3)$.

Геометрическая формулировка классической нерелятивистской механики в терминах расслоений

Гамильтонова формулировка автономной классической механики на симплектических многообразиях не распространяется на неавтономную механику, допускающую зависящие от времени преобразования. Было предложено описывать нерелятивистскую механику в полном виде, с зависящими от времени преобразованиями, как частный случай классической теории поля на расслоениях $Q \to R$ над осью времени $\boldsymbol{R}$. Однако её существенное отличие от классической теории поля состоит в том, что связности на расслоениях $Q \to R$ всегда плоские и поэтому не являются динамическими переменными. Они характеризуют системы отсчета в нерелятивистской механике. Пространством скоростей и фазовым пространством нерелятивистской механики являются соответственно многообразие струй первого порядка J^1Q сечений расслоения $Q \to R$ и вертикальное кокасательное расслоение V^*Q к расслоению $Q \to R$. Была разработана геометрическая формулировка гамильтоновой и лагранжевой нерелятивистской механики относительно произвольных систем отсчета и в самом общем виде механики, описываемой динамическими уравнениями второго порядка.

Геометрическая формулировка релятивистской механики в терминах одномерных подмногообразий

В отличие от нерелятивистской, релятивистская механика допускает преобразования времени, зависящие от пространственных координат. Она формулируется в терминах одномерных подмногообразий конфигурационного многообразия Q, когда пространством нерелятивистских скоростей является многообразие струй первого порядка $J^1_1 Q$ одномерных подмногообразий многообразия Q, на котором строится лагранжев формализм релятивистской механики.

Обобщение теорем Лиувилля—Арнольда, Нехорошева и Мищенко—Фоменко о координатах «действие—угол» для вполне интегрируемых и суперинтегрируемых гамильтоновых систем на случай некомпактных инвариантных подмногообразий.

Другие опубликованные результаты

- Спинорные представления конформной группы.
- Топология неподвижных точек группы перенормировок.
- Гомотопическая классификация калибровочных полей с нулевой напряженностью.
- Математическая модель дискретного пространства-времени.
- Геометрическая формулировка принципа эквивалентности.
- Описание гравитационных сингулярностей как сингулярностей пространственно-временных слоений.
- Пространство Уиллера—Де Витта пространственных метрик с топологическими переходами.
- Калибровочная модель «пятой силы» как поля дислокаций пространства-времени.
- Производящий функционал квантовой теории поля как мера на пространстве обобщенных функций.
- Закон сохранения энергии-импульса в аффинно-метрической и калибровочной теориях гравитации.
- Неавтономная механика с неголономными связями.
- Геодезическая форма динамических уравнений нерелятивистской механики.
- Классическая и квантовая механика систем, зависящих от параметров.
- Геометрия симплектических слоений.

URSS

- Геометрическое квантование неавтономной классической механики.
- Дифференциальная геометрия простых градуированных многообразий.
- Бигамильтоновы частично интегрируемые системы и КАМ теорема для них.
- Неавтономные вполне интегрируемые и суперинтегрируемые гамильтоновы системы.
- Геометрическое квантование вполне интегрируемых и суперинтегрируемых гамильтоновых систем в переменных «действие—угол».
- Стабильность по Ляпунову относительно зависящих от времени римановых метрик.
- Относительные и итерированные БРСТ когомологии.
- Неэквивалентные представления ядерных алгебр канонических коммутационных соотношений.
- Обобщение the Serre—Swan theorem на некомпактные и градуированные многообразия.
- Определение дифференциальных операторов в некоммутативной геометрии.
- Законы сохранения в Chern—Simons топологической теории поля.
- Классические и квантовые поля Якоби вполне интегрируемых гамильтоновых систем.
- Неадиабатический оператор голономии для вполне интегрируемых гамильтоновых систем.
- Квантовая механика относительно разных систем отсчета.
- Лагранжева и гамильтонова теория подмногообразий.
- Геометрическое квантование гамильтоновой релятивистской механики.
- Супергравитация как суперметрика на супермногообразиях.
- Тождества Нётер дифференциальных операторов.
- Дифференциальные операторы на обобщенных функциях.

Список научных публикаций (1974–2013 гг.)

Книги

1. *Иваненко Д. Д., Пронин П. И., Сарданашвили Г. А. Групповые, геометрические и топологические методы в теории поля. Часть I.* (Изд. МГУ, М., 1983).
2. *Иваненко Д. Д., Пронин П. И., Сарданашвили Г. А. Групповые, геометрические и топологические методы в теории поля. Часть II.* (Изд. МГУ, М., 1983).
3. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А. Гравитация* («Наукова Думка», Киев, 1985); 2-, 3-, 4-, 5-е изд. (М.: URSS, 2004, 2008, 2010, 2012).
4. *Иваненко Д. Д., Пронин П. И., Сарданашвили Г. А. Калибровочная теория гравитации* (Изд. МГУ, М., 1985).
5. *Иваненко Д. Д., Обухов Ю. Н., Сарданашвили Г. А. Введение в геометрическую теорию калибровочных полей* (Высшая школа, М., 1991) (не опубликована).
6. *Sardanashvily G., Zakharov O. Gauge Gravitation Theory* (World Scientific, Singapore, 1992).

URSS

7. *Sardanashvily G. Gauge Theory in Jet Manifolds* (Hadronic Press, Palm Harbor, FL, USA, 1993).
8. *Sardanashvily G. Generalized Hamiltonian Formalism for Field Theory* (World Scientific, Singapore, 1995).
9. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. 1. Геометрия и классические поля (М.: URSS, 1996); 2-е изд. (2011).
10. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. New Lagrangian and Hamiltonian Methods in Field Theory* (World Scientific, Singapore, 1997).
11. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. 2. Геометрия и классическая механика (М.: URSS, 1998).
12. *Mangiarotti L., Sardanashvily G. Gauge Mechanics* (World Scientific, Singapore, 1998).
13. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. 3. Алгебраическая квантовая теория (М.: URSS, 1999); 2-е изд. (2011).
14. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. 4. Геометрия и квантовые поля (М.: URSS, 2000).
15. *Mangiarotti L., Sardanashvily G. Connections in Classical and Quantum Field Theory* (World Scientific, Singapore, 2000).
16. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. Geometric and Algebraic Topological Methods in Quantum Mechanics* (World Scientific, Singapore, 2005).
17. *Ivanenko D., Sardanashvili G. Gravitacion* (URSS, Moscow, 2005). (in Spanish).
18. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. Advanced Classical Field Theory* (World Scientific, Singapore, 2009).
19. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G. Geometric Formulation of Classical and Quantum Mechanics* (World Scientific, Singapore, 2010).
20. *Сарданашвили Г. А. Дмитрий Иваненко — суперзвезда советской физики. Ненаписанные мемуары* (М.: URSS, 2010).
21. *Сарданашвили Г. А. Я — ученый. Заметки теорфизика* (М.: URSS, 2010).
22. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. 5. Гравитация (М.: URSS, 2011).
23. *Sardanashvily G. Lectures on Differential Geometry of Modules and Rings. Application to Quantum Theory* (Lambert Academic Publishing, Saarbrucken, 2012).
24. *Sardanashvily G. Advanced Differential Geometry for Theoreticians. Fiber Bundles,Jet Manifolds and Lagrangian Theory* (Lambert Academic Publishing, Saarbrucken, 2013).

Статьи (неполный список)

25. *Сарданашвили Г. А., Фролов Б. Н.* Гравитация и компенсирующие поля, *Известия вузов СССР, Физика* (1974) № 9, 47–51.
26. *Сарданашвили Г. А.* Компенсация, нелинейность, геометрия, *Известия вузов СССР, Физика* (1974) № 12, 128–134.
27. *Сарданашвили Г. А.* Спинорные представления конформной группы, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1975) № 3, 316–323.
28. *Сарданашвили Г. А.* Компенсация и нелинейная теория, *Известия вузов СССР, Физика* (1975) № 12, 7–13.
29. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* К идее праспинора, *Известия вузов СССР, Физика* (1976) № 5, 144–146.
30. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* Новые аспекты теории компенсации, В сб. *Актуальные проблемы теоретической физики* (Изд. МГУ, М., 1976) 97–116.
31. *Сарданашвили Г. А.* Компенсация и струнная модель частиц, *Известия вузов СССР, Физика* (1977) № 5, 144–145.

URSS

32. *Сарданашвили Г. А.* Системы с взаимодействием и расслоения, *Известия вузов СССР, Физика* (1978) № 1, 10–14.
33. *Сарданашвили Г. А.* К проблеме гравитационного вакуума, *Известия вузов СССР, Физика* (1978) № 7, 137–139.
34. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* К модели праспинора, *Известия вузов СССР, Физика* (1978) № 10, 78–81.
35. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* К модели дискретного пространства-времени, *Известия вузов СССР, Физика* (1978) № 11, 144–145.
36. *Сарданашвили Г. А.* Дискретное пространство-время, *Математическая энциклопедия*, т. 2 (Изд. Советская энциклопедия, М., 1978) 205–206.
37. *Сарданашвили Г. А.* Математические аспекты гипотезы дискретности пространства-времени, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1979) № 2, 68–69.
38. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* Модели с переменной топологией, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1979) № 3, 71–74.
39. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* Расширения эйнштейновской гравитации и перспективы единой калибровочной теории, *Известия вузов СССР, Физика* (1980) № 2, 54–66.
40. *Sardanashvily G.* Gravity as a Goldstone field in the Lorentz gauge theory, *Phys. Lett. A* **75** (1980) 257–258.
41. *Сарданашвили Г. А., Гвоздев А. А.* Фазовый переход в модели нелинейного фермионного поля, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1981) № 1, 106–109.
42. *Сарданашвили Г. А., Гвоздев А. А.* О топологии неподвижных точек ренорм-групп, *Известия вузов СССР, Физика* (1981) № 4, 114–115.
43. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* Принципы относительности и эквивалентности в калибровочной теории гравитации, *Известия вузов СССР, Физика* (1981) № 6, 79–82.
44. *Сарданашвили Г. А.* Калибровочные поля в случае дискретных симметрий, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1981) № 5, 41–43.
45. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* Новые концепции единых теорий и модель праспиноров, В сб. *Тезисы III Всесоюзного совещания по философским вопросам современного естествознания* (Москва, 1981) 53–57.
46. *Ivanenko D., Sardanashvily G.* On the relativity and equivalence principles in the gauge theory of gravitation, *Lett. Nuovo Cim*. **30** (1981) 220–223.
47. *Ivanenko D., Sardanashvily G.* Preons as prespinors, *Compt. Rend. l'Acad. Bulg. Sci.* **34** (1981) 1073–1074.
48. *Ivanenko D., Sardanashvily G.* Relativity principle and equivalence principle in the gauge gravitational theory, *Compt. Rend. l'Acad. Bulg. Sci*. **34** (1981) 1237–1239.
49. *Сарданашвили Г. А., Янчевский В. П.* О топологии космологических моделей вблизи критических точек, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1982) № 4, 71–73.
50. *Сарданашвили Г. А., Янчевский В. П.* Пространственно-временные слоения в теории гравитации, *Известия вузов СССР, Физика* (1982) № 9, 20–23.
51. *Ivanenko D., Sardanashvily G.* Foliation analysis of gravitational singularities, *Phys. Lett. A* **91** (1982) 341–344.
52. *Сарданашвили Г. А., Субботин А. В.* Неинвариантность вакуума в калибровочных моделях, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1983) № 4, 58–60.
53. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А., Янчевский В. П.* Гравитационные сингулярности как особенности пространственно-временных слоений, В сб. *Применение методов классической и квантовой теории к решению физических задач* (Изд. Куйбышевского ун-та, Куйбышев, 1983) 6–18.
54. *Sardanashvily G.* What are the Poincaré gauge fields? *Czech. J. Phys. B* **33** (1983) 610–615.
55. *Ivanenko D., Sardanashvily G.* The gauge treatment of gravity, *Phys. Rep*. **94** (1983) 1–45.

URSS

56. *Джунушалиев В. Д., Сарданашвили Г. А.* Калибровочные поля со скрытой топологией, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1984) № 4, 66–68.
57. *Сарданашвили Г. А., Субботин А. В.* Хиггсовские поля как конденсат, *Известия вузов СССР, Физика* (1984) № 7, 8–12.
58. *Сарданашвили Г. А.* Об определении групп калибровочных преобразований, *Известия вузов СССР, Физика* (1984) № 12, 52–57.
59. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А., Янчевский В. П.* О критерии гравитационных сингулярностей, В сб. *Фундаментальные взаимодействия* (Изд. МГПИ, М., 1984) 176–187.
60. *Sardanashvily G.* On the definition of gauge transformation group in gauge theory, *Ann. der Physik* **41** (1984) 23–28.
61. *Sardanashvily G.* Space-time foliations, *Acta Phys. Hung***. 57** (1985) 31–40.
62. *Сарданашвили Г. А., Ихлов Б. Л.* Хиггсовский вакуум в теории гравитации, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1986) № 2, 17–19.
63. *Сарданашвили Г. А., Захаров О. А.* Суперсимметрия элементарных частиц, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1986) № 3, 64–66.
64. *Джунушалиев В. Д., Сарданашвили Г. А.* Суперпространство Уилера—Де Витта и топологические переходы в теории гравитации, *Известия вузов СССР, Физика* (1986) № 12, 73–75.
65. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* Голдстоновская теория гравитации, В сб. *Проблемы гравитации* (Изд. МГУ, М., 1986) 108–129.
66. *Ivanenko D., Sardanashvily G.* Goldstone type supergravity, *Progr. Theor. Phys***. 75** (1986) 969–976.
67. *Sardanashvily G., Zakharov O.* Fiber bundle formalism for supergravity, *Pramana-J. Phys***. 26** (1986) L295–L299.
68. *Sardanashvily G., Yanchevsky V.* Caustics of space-time foliations in General Relativity, *Acta Phys. Polon. B* **17** (1986) 1017–1028.
69. *Ivanenko D., Sardanashvily G.* On the Goldstone gravitation theory, *Pramana-J. Phys.* **29** (1987) 21–37.
70. *Sardanashvily G., Gogberashvily M.* The dislocation treatment of gauge fields of space-time translations, *Mod. Phys. Lett. A* **2** (1987) 609–616.
71. *Сарданашвили Г. А., Микула А. Е.* Экранирование кварк-кваркового потенциала, *Известия вузов СССР, Физика* (1988) № 2, 82–85.
72. *Сарданашвили Г. А., Гогберашвили М. Я.* Гравитация и калибровочная теория дислокаций, *Известия вузов СССР, Физика* (1988) № 3, 71–74.
73. *Сарданашвили Г. А.* Каустики пространственно-временных слоений, *вузов СССР, Физика* (1988) № 9, 32–37.
74. *Сарданашвили Г. А., Тимошенко Э. Г.* Каустики гравитационных волн, В сб. *Материалы VII Всесоюзной конференции «Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации»* (Ереван, 1988) 125–127.
75. *Sardanashvily G., Gogberashvily M.* Translation gauge fields and space-time dislocations, *Ann. der Physik* **45** (1988) 297–302.
76. *Сарданашвили Г. А., Тимошенко Э. Г.* Гравитационные сингулярности типа каустик, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1989) № 1, 75–77.
77. *Сарданашвили Г. А., Захаров О. А.* О хиггсовском свойстве гравитационного поля, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1989) № 5, 70–72.
78. *Сарданашвили Г. А., Гогберашвили М. Я.* Калибровочная теория трансляций и поправки к ньютоновскому потенциалу, В сб. *Экспериментальные тесты теории гравитации* (Изд. МГУ, М., 1989) 51–55.
79. *Sardanashvily G., Ikhlov B.* Higgs gravitation vacuum in the gauge gravitation theory, *Acta Phys. Hung.* **65** (1989) 79–84.

URSS

80. *Sardanashvily G., Zakharov O.* Gauge transformations in gravitation theory, *Acta Phys. Polon. B* **20** (1989) 651–658.
81. *Sardanashvily G., Zakharov O.* On the Higgs feature of gravity, *Pramana-J. Phys*. **33** (1989) 547–554.
82. *Сарданашвили Г. А., Тимошенко Э. Г.* Калибровочная модель пятой силы, *Вестник МГУ, Физика, Астрономия* (1990) № 4, 70–72.
83. *Захаров О. А., Сарданашвили Г. А.* О функциональных интегралах в теории поля, *Известия вузов СССР, Физика* (1990) № 9, 53–58.
84. *Mangiarotti L., Marathe K., Sardanashvily G.* Equivalence principle, Lorentz structures and theories of gravitation, *Nuovo Cim. B* **105** (1990) 757–770.
85. *Sardanashvily G.* Spontaneous symmetry breaking in the gauge gravitation theory, *Preprint IC/90/73 ICTP*, Triest.
86. *Sardanashvily G., Zakharov O.* On generating functionals in algebraic quantum field theory. Fermion fields, *Preprint IC/90/130 ICTP*, Triest.
87. *Sardanashvily G.* The gauge model of the fifth force, *Acta Phys. Polon. B* **21** (1990) 583–587.
88. *Сарданашвили Г. А.* Спонтанное нарушение симметрий в калибровочной теории гравитации, В сб. *Перспективы единой теории* (Изд. МГУ, М., 1991) 182–204.
89. *Sardanashvily G., Zakharov O.* On functional integrals in quantum field theory, *Rep. Math. Phys.* **29** (1991) 101–108.
90. *Sardanashvily G.* Gauge gravitation theory, *Int. J. Theor. Phys.* **30** (1991) 721–735.
91. *Sardanashvily G.* Gauge theory of gravity, In Vol. *Problems of Modern Physics* (World Scientific, Singapore, 1991) 75–99.
92. *Sardanashvily G.* Higgs vacuum from the axiomatic viewpoint, *Nuovo Cim. A* **104** (1991) 105–111.
93. *Sardanashvily G.* Spontaneous symmetry breaking and multidimensional coordinate space, *Nuovo Cim. B* **106** (1991) 575–578.
94. *Sardanashvily G.* On the geometry of spontaneous symmetry breaking, *J. Math. Phys*. **33** (1992) 1546–1549.
95. *Sardanashvily G., Zakharov O.* The multimomentum Hamiltonian formalism for field systems, In Vol. *Proceedings of the XX International Conference on Differential Geometric Methods in Theoretical Physics* (World Scientific, Singapore, 1992) 387–396.
96. *Sardanashvily G., Zakharov O.* Multimomentum Hamiltonian formalism in gauge theory, *Int. J. Theor. Phys.* **31** (1992) 1477–1504.
97. *Sardanashvily G., Zakharov O.* On application of the Hamilton formalism in fibred manifolds to field theory, *Diff. Geom. Appl*. **3** (1993) 245–263.
98. *Sardanashvily G.* Multimomentum Hamiltonian formalism. Energy-momentum conservation laws, В сб. *Проблемы современной физики*, Вып. 1 (Изд. Белка, М., 1994) 54–67.
99. *Sardanashvily G.* Multimomentum canonical quantization of fields, *Hadronic Journal* **17** (1994) 227–245.
100. *Sardanashvily G.* Constraint field systems in multimomentum canonical variables, *J. Math. Phys.* **35** (1994) 6584–6603.
101. *Sardanashvily G.* Multimomentum Hamiltonian formalism in quantum field theory, *Int. J. Theor. Phys.* **33** (1994) 2373–2387.
102. *Giachetta G., Sardanashvily G.* Energy-momentum superpotentials in gravitation theory, In Vol. *Gravity, Particles and Space-Time* (World Scientific, Singapore, 1996) 471–506.
103. *Sardanashvily G.* Gravity as a Higgs field, In Vol. *New Frontiers in Gravitation* (Hadronic Press, Palm Harbor, FL, 1996) 299–336.
104. *Giachetta G., Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum of affine-metric gravity. Generalized Komar superpotential, *Class. Quant. Grav.* **13** (1996) L67–L71.
105. *Sardanashvily G.* Relativistic theory of gravity, In Vol. *Proceedings of the XIX Workshop on High Energy Physics and Field Theory* (*Protvino, 1996*) (IHEP Press, Protvino, 1997) 184–196.

URSS

106. *Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum tensors in constraint field theories, *J. Math. Phys*. **38** (1997) 847–866.
107. *Sardanashvily G.* Energy conservation laws and antimatter, *Hyperfine Interaction* **109** (1997) 117–122.
108. *Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum conservation law in gauge gravitation theory, *Class. Quant. Grav*. **14** (1997) 1371–1386.
109. *Сарданашвили Г. А.* Фоновая геометрия в калибровочной теории гравитации, *Теоретическая и математическая физика* **114** (1998) 470–480.
110. *Sardanashvily G.* Hamiltonian time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **39** (1998) 2714–2729.
111. *Sardanashvily G.* Covariant spin structure, *J. Math. Phys*. **39** (1998) 4874–4890.
112. *Sardanashvily G.* Universal spin structure, *Int. J. Theor. Phys.* **37** (1998) 1275–1297.
113. *Sardanashvily G.* General covariant transformations of spin structure, *Grav. & Cosm.* **4** (1998) 61–68.
114. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Nonrelativistic equations of motion as geodesic equations, *Grav. & Cosmol.* **4** (1998) 249–256.
115. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Nonholonomic constraints in time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **40** (1999) 1376–1390.
116. *Giambò R., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Relativistic and non-relativistic geodesic equations, *Nuovo Cim. B* **114** (1999) 749–766.
117. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* BRST-extended polysymplectic Hamiltonian formalism, *Nuovo Cim. B* **114** (1999) 939–955.
118. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Nonrelativistic geodesic motion, *Int. J. Theor. Phys.* **38** (1999) 2703–2717.
119. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Covariant Hamiltonian equations for field theory, *J. Phys. A* **32** (1999) 6629–6642.
120. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Energy-momentum conservation laws. Gauge approach, *Grav. & Cosmol.* **5** (1999) 92–100.
121. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* The Koszul—Tate cohomology in covariant Hamiltonian formalism, *Mod. Phys. Lett. A* **14** (1999) 2201–2209.
122. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* On the geodesic form of second order dynamic equations, *J. Math. Phys*. **41** (2000) 835–844.
123. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Constraints in Hamiltonian time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **41** (2000) 2858–2876.
124. *Sardanashvily G.* Classical and quantum mechanics with time-dependent parameters, *J. Math. Phys*. **41** (2000) 5245–5255.
125. *Sardanashvily G.* SUSY-extended field theory, *Int. J. Mod. Phys. A***15** (2000) 3095–3112.
126. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Iterated BRST cohomology, *Lett. Math. Phys.* **53** (2000) 143–156.
127. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Cohomology of the infinite-order jet space and the inverse problem, *J. Math. Phys*. **42** (2001) 4272–4282.
128. *Sardanashvily G.* Cohomology of the variational complex in field-antifield BRST theory, *Mod. Phys. Lett. A* **16** (2001) 1531–1541.
129. *Сарданашвили Г. А.* Классическая калибровочная теория гравитации, *Теоретическая и математическая физика* **132** (2002) 318–328.
130. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Covariant geometric quantization of nonreletavistic time-dependent mechanics, *J. Math. Phys*. **43** (2002) 56–68.
131. *Sardanashvily G.* Cohomology of the variational complex in the class of exterior forms of finite jet order, *Int. J. Math. Math. Sci.* **30** (2002) 39–48.
132. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric quantization of mechanical systems with time-dependent parameters, *J. Math. Phys*. **43** (2002) 2882–2894.

URSS

133. *Fiorani E., Giachetta G., Sardanashvily G.* Geometric quantization of time-dependent completely integrable Hamiltonian systems, *J. Math. Phys*. **43** (2002) 5013–5025.
134. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Action-angle coordinates for time-dependent completely integrable Hamiltonian systems, *J. Phys. A* **35** (2002) L439–L445.
135. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric quantization of completely integrable Hamiltonian systems in the action-angle variables, *Phys. Lett. A* **301** (2002) 53–57.
136. *Sardanashvily G.* Nonequivalent representations of nuclear algebras of canonical commutation relations. Quantum fields, *Int. J. Theor. Phys.* **41** (2002) 1541–1562.
137. *Fiorani E., Giachetta G., Sardanashvily G.* The Liouville—Arnold—Nekhoroshev theorem for non-compact invariant manifolds, *J. Phys. A* **36** (2003) L101–L107.
138. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Jacobi fields of completely integrable Hamiltonian systems, *Phys. Lett. A* **309** (2003) 382–386.
139. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Bi-Hamiltonian partially integrable systems, *J. Math. Phys*. **44** (2003) 1984–1997.
140. *Sardanashvily G.* Geometric quantization of relativistic Hamiltonian mechanics, *Int. J. Theor. Phys***. 42** (2003) 697–704.
141. *Fiorani E., Giachetta G., Sardanashvily G.* An extension of the Liouville—Arnold theorem for the non-compact space, *Nuovo Cim. B* **118** (2003) 307–317.
142. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Noether conservation laws in higher-dimensional Chern—Simons theory, *Mod. Phys. Lett. A* **18** (2003) 2645–2651.
143. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Nonadiabatic holonomy operator in classical and quantum completely integrable systems, *J. Math. Phys.* **45** (2004) 76–86.
144. *Sardanashvily G., Giachetta G.* Preface: What is geometry in quantum theory, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **1** (2004) 1–22.
145. *Bashkirov D., Sardanashvily G.* Covariant Hamiltonian field theory. Path integral quantization, *Int. J. Theor. Phys***. 43** (2004) 1317–1333.
146. *Bashkirov D., Sardanashvily G.* On the BV quantization of gauge gravitation theory, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **2** (2005) 203–226.
147. *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Noether's second theorem for BRST symmetries, *J. Math. Phys*. **46** (2005) 053517.
148. *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Noether's second theorem in a general setting. Reducible gauge theories, *J. Phys. A* **38** (2005) 5329–5344.
149. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Lagrangian supersymmetries depending on derivatives. Global analysis and cohomology, *Commun. Math. Phys*. **259** (2005) 103–128.
150. *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* The antifield Koszul—Tate complex of reducible Noether identities, *J. Math. Phys*. **46** (2005) 103513.
151. *Sardanashvily G.* Noether identities of a differential operator. The Koszul—Tate complex, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **2** (2005) 873–886.
152. *Sardanashvily G.* Gauge gravitation theory from the geometric viewpoint, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **3** (2006) № 1, v–xx.
153. *Sardanashvily G.* Geometry of classical Higgs fields, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **3** (2006) 139–148.
154. *Fiorani E., Sardanashvily G.* Noncommutative integrability on noncompact invariant manifolds, *J. Phys. A* **39** (2006) 14035–14042.
155. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Quantization of noncommutative completely integrable Hamiltonian systems, *Phys. Lett. A* **362** (2007) 138–142.
156. *Fiorani E., Sardanashvily G.* Global action-angle coordinates for completely integrable systems with noncompact invariant submanifolds, *J. Math. Phys*. **48** (2007) 032901.
157. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Quantum mechanics with respect to different reference frames, *J. Math. Phys*. **48** (2007) 082104.

UNESS

158. *Sardanashvily G.* Graded infinite order jet manifolds, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **4** (2007) 1335–1362.
159. *Fiorani E., Sardanashvily G.* Noncommutative integrability on noncompact invariant manifolds, *Spanish Roy. Math. Soc.* **11** (2007) 280–284.
160. *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* The KT-BRST complex of a degenerate Lagrangian system, *Lett. Math. Phys*. **83** (2008) 237–252.
161. *Sardanashvily G.* Mathematical models of spontaneous symmetry breaking, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **5** (2008) № 2, v–xvi.
162. *Sardanashvily G.* Supermetrics on supermanifolds, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **5** (2008) 271–286.
163. *Sardanashvily G.* Classical field theory. Advanced mathematical formulation, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **5** (2008) 1163–1189.
164. *Giachetta G., Mangiarotti L.* and *Sardanashvily G.* On the notion of gauge symmetries of generic Lagrangian field theory, *J. Math. Phys*. **50** (2009) 012903.
165. *Sardanashvily G.* Gauge conservation laws in a general setting. Superpotential, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **6** (2009) 1046–1057.
166. *Sardanashvily G.* Superintegrable Hamiltonian systems with noncompact invariant submanifolds. Kepler system, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **6** (2009) 1391–1420.
167. *Sardanashvily G.* Relativistic mechanics in a general setting, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **7** (2010) 1307–1319.
168. *Sardanashvily G.* Classical gauge gravitation theory, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **8** (2011) 1869–1895.
169. *Sardanashvily G.* Lagrangian dynamics of submanifolds. Relativistic mechanics, *J. Geom. Mech.* **4** (2012) 99–110.
170. *Sardanashvily G.* Differential operators on Schwartz distributions, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **9** (2012) 1250062.
171. *Sardanashvily G.* Time-dependent superintegrable Hamiltonian systems, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **9** (2012) 1220016.
172. *Sardanashvily G.* Graded Lagrangian formalism, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **10** (2013) 1350016.
173. *Sardanashvily G.* Geometric formulation of non-autonomous mechanics, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.* **10** (2013) 1350061.

Статьи в arXiv (Los Alamos National Laboratory, USA)

174. *Sardanashvily G.* Multimomentum Hamiltonian formalism in field theory, **hep-th/9403172**.
175. *Sardanashvily G.* Multimomentum Hamiltonian formalism in quantum field theory, **hep-th/9404001**.
176. *Sardanashvily G.* Gravitation singularities of the caustic type, **hep-th/9404024**.
177. *Sardanashvily G.* Multimomentum Hamiltonian formalism in field theory. Geometric supplementary, **hep-th/9405013**.
178. *Sardanashvily G.* Gravity as a Higgs field. I. Geometric equivalence principle, **gr-qc/9405013**.
179. *Sardanashvily G.* Gravity as a Higgs field. II. Fermion-gravitation complex, **gr-qc/9407032**.
180. *Sardanashvily G.* Hamiltonian field systems on composite manifolds, **hep-th/9409159**.
181. *Sardanashvily G.* True functional integrals in algebraic quantum field theory, **hep-th/9410107**.
182. *Sardanashvily G.* Gauge gravitation theory. What is world geometry? **gr-qc/9410045**.
183. *Sardanashvily G.* Gravity as a Higgs field. III. Nongravitational deviations of gravitational fields, **gr-qc/9411013**.

URSS

184. *Sardanashvily G.* Five lectures on the jet manifold methods in field theory, **hep-th/9411089**.
185. *Sardanashvily G.* Energy-momentum conservation law in Hamiltonian field theory, **gr-qc/9412041**.
186. *Sardanashvily G.* Differential geometry of composite fibred manifolds, **dg-ga/9412002**.
187. *Sardanashvily G.* Energy momentum conservation laws in affine-metric gravitation theory, **gr-qc/9501009**.
188. *Sardanashvily G.* Composite spinor bundles in gravitation theory, **gr-qc/9502022**.
189. *Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum tensor in constrained field theories, **gr-qc/9503038**.
190. *Sardanashvily G.* Fermions in gravitation theory, **gr-qc/9508046**.
191. *Giachetta G., Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum tensors in Lagrangian field theory. Part 1. Superpotentials, **gr-qc/950061**.
192. *Giachetta G., Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum of affine-metric gravity. Generalized Komar superpotential, **gr-qc/9511008**.
193. *Giachetta G., Sardanashvily G.* Dirac equation in gauge and affine-metric gravitation theories, **gr-qc/9511035**.
194. *Giachetta G., Sardanashvily G.* Stress-energy-momentum tensors in Lagrangian field theory. Part 2. Gravitational superpotential, **gr-qc/9511040**.
195. *Sardanashvily G., Kirillov K.* Energy-momentum in gauge gravitation theory, **gr-qc/9611068**.
196. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Differential geometry of time dependent mechanics, **dg-ga/9702020**.
197. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Universal spin structure in gauge gravitation theory, **gr-qc/9705058**.
198. *Sardanashvily G.* Background geometry in gauge gravitation theory, **gr-qc/9709054**.
199. *Sardanashvily G.* Non-symplectic geometry of first order time-dependent mechanics, **dg-ga/9710003**.
200. *Sardanashvily G.* Covariant spin structure, **gr-qc/9711043**.
201. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Relativistic and non-relativistic equations of motion, **gr-qc/9805081**.
202. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Dynamic connections in analytical mechanics, **math-ph/9805024**.
203. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Nonholonomic constraints in time-dependent mechanics, **math-ph/9807014**.
204. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Energy-momentum and gauge conservation laws, **gr-qc/9807054**.
205. *Sardanashvily G.* On the geometric arena of supermechanics, **math-ph/9903040**.
206. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* On the bracket problem in covariant Hamiltonian field theory, **hep-th/9903220**.
207. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Covariant Hamiltonian field theory, **hep-th/9904062**.
208. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Constraints in Hamiltonian time-dependent mechanics, **math-ph/9904028**.
209. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Non-relativistic geodesic equations, **gr-qc/9905107**.
210. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* On the geodesic form of non-relativistic dynamic equations, **math-ph/9906001**.
211. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* The Koszul—Tate cohomology in covariant Hamiltonian formalism, **hep-th/9907181**.
212. *Sardanashvily G.* SUSY-extended field theory, **hep-th/9911108**.
213. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Jets and connections in commutative and non-commutative geometry, **math-ph/9911030**.
214. *Sardanashvily G.* Quantum mechanics with time-dependent parameters, **quant-ph/0004005**.

URSS

215. *Sardanashvily G.* On quantum evolution as a parallel transport, **quant-ph/0004050**.
216. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* On the obstruction to the exactness of the variational bicomplex, **math-ph/0004024**.
217. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* On the global calculus in local cohomology in BRST theory, **hep-th/0005023**.
218. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Cohomology of the infinite-order jet space, **math-ph/0005009**.
219. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Cohomology of the variational complex, **math-ph/0005010**.
220. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Cohomology of the variational bicomplex on the infinite order jet space, **math/0006074**.
221. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Global calculus in local BRST cohomology, **hep-th/0006143**.
222. *Sardanashvily G.* Constraints in polysymplectic (covariant) Hamiltonian formalism, **math-ph/0008024**.
223. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Quantum Jacobi fields in mechanics, **quant-ph/0011093**.
224. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Covariant geometric quantization of non-relativistic Hamiltonian mechanics, **quant-ph/0012036**.
225. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric quantization of non relativistic and relativistic Hamiltonian mechanics, **math-ph/0012030**.
226. *Sardanashvily G.* Remark on the Serre—Swan theorem for non-compact manifolds, **math-ph/0102016**.
227. *Sardanashvily G.* Cohomology of the variational complex in BRST theory, **hep-th/0102175**.
228. *Sardanashvily G.* Differential geometry of fibre bundles over foliated manifolds, **math-ph/0108020**.
229. *Sardanashvily G.* Geometric quantization of symplectic foliations, **math/0110196**.
230. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric quantization of mechanical systems with time-dependent parameters, **quant-ph/0112011**.
231. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric quantization of completely integrable Hamiltonian systems in the action-angle variables, **math-ph/0112083**.
232. *Sardanashvily G.* The covariant Lyapunov tensor and the Lyapunov stability with respect to time-dependent Riemannian metrics, **math-ph/0112044**.
233. *Sardanashvily G.* Holonomic control operators in quantum completely integrable Hamiltonian systems, **quant-ph/0201050**.
234. *Sardanashvily G.* On the geometric foundation of classical gauge gravitation theory, **gr-qc/0201074**.
235. *Sardanashvily G.* The Lyapunov stability of first order dynamic equations with respect to time-dependent Riemannian metrics, **nlin/0201060**.
236. *Sardanashvily G.* Nonequivalent representations of nuclear algebras of canonical commutation relations. Quantum fields, **hep-th/0202038**.
237. *Fiorani E., Giachetta G., Sardanashvily G.* Geometric quantization of time-dependent completely integrable Hamiltonian systems, **quant-ph/0202093**.
238. *Sardanashvily G.* Deformation quantization in covariant Hamiltonian field theory, **hep-th/0203044**.
239. *Sardanashvily G.* The Lyapunov stability of first order dynamic equations with respect to time-dependent Riemannian metrics. An example, **nlin/0203031**.
240. *Sardanashvily G.* Ten lectures on jet manifolds in classical and quantum field theory, **math-ph/0203040**.
241. *Sardanashvily G.* Energy-momentum conservation laws in gauge theory with broken invariance, **hep-th/0203275**.

URSS

242. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Action-angle coordinates for time-dependent completely integrable Hamiltonian systems, **math/0204151**.
243. *Fiorani E., Giachetta G., Sardanashvily G.* Action-angle coordinates around a noncompact invariant manifold of a completely integrable Hamiltonian system, **math/0205122**.
244. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Jacobi fields of completely integrable Hamiltonian systems, **math-ph/0205026**.
245. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Holonomy control operators in classical and quantum completely integrable Hamiltonian systems, **math/0205244**.
246. *Sardanashvily G.* Energy-momentum tensors in gauge theory, **hep-th/0207021**.
247. *Sardanashvily G.* Classical gauge theory of gravity, **gr-qc/0208054**.
248. *Sardanashvily G.* Geometric quantization of relativistic Hamiltonian mechanics, **gr-qc/0208073**.
249. *Sardanashvily G.* The bracket and the evolution operator in covariant Hamiltonian field theory, **math-ph/0209001**.
250. *Sardanashvily G.* Hopf algebras of canonical commutation relations, **quant-ph/0209066**.
251. *Fiorani E., Giachetta G., Sardanashvily G.* The Liouville—Arnold—Nekhoroshev theorem for non-compact invariant manifolds, **math/0210346**.
252. *Sardanashvily G.* Recursion operators between degenerate Poisson structures, **math/0211025**.
253. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* A note on the KAM theorem for partially integrable Hamiltonian systems, **math/0211211**.
254. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Bi-Hamiltonian partially integrable systems, **math/0211463**.
255. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Non-adiabatic holonomy operators in classical and quantum completely integrable systems, **quant-ph/0212108**.
256. *Sardanashvily G.* The quasi-periodic stability (the KAM theorem) for partially integrable systems, **math/0301068**.
257. *Sardanashvily G.* The gauge condition in gravitation theory with a background metric, **gr-qc/0301066**.
258. *Sardanashvily G.* Noether conservation laws issue from the gauge invariance of an Euler—Lagrange operator, but not a Lagrangian, **math-ph/0302012**.
259. *Sardanashvily G.* Noether conservation laws in classical mechanics, **math-ph/0302027**.
260. *Sardanashvily G.* Noether conservation laws in quantum mechanics, **quant-ph/0302123**.
261. *Sardanashvily G.* Noether conservation laws in infinite order Lagrangian formalism, **math-ph/0302063**.
262. *Sardanashvily G.* Gauge conservation laws in higher-dimensional Chern—Simons models, **hep-th/0303059**.
263. *Sardanashvily G.* Energy-momentum conservation laws in higher-dimensional Chern—Simons models, **hep-th/0303148**.
264. *Sardanashvily G.* On the notion of a differential operator in noncommutative geometry, **math-ph/0303062**.
265. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Generalized Lagrangian symmetries depending on higher order derivatives. Conservation laws and characteristic equation, **math-ph/0304025**.
266. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Lagrangian symmetries and supersymmetries depending on derivatives. Conservation laws and cohomology, **math-ph/0305014**.
267. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Lagrangian symmetries and supersymmetries depending on derivatives. Global analysis, **math/0305303**.
268. *Sardanashvily G.* On the definition of higher order differential operators in noncommutative geometry, **math-ph/0308013**.
269. *Sardanashvily G.* Jets of modules in noncommutative geometry, **math-ph/0310046**.

URSS

270. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Noether conservation laws in higher-dimensional Chern—Simons models, **math-ph/0310067**.
271. *Sardanashvily G.* Algebras of infinite qubit systems, **quant-ph/0311080**.
272. *Sardanashvily G., Giachetta G.* What is geometry in quantum theory, **hep-th/0401080**.
273. *Bashkirov B., Sardanashvily G.* The BRST extension of gauge non-invariant Lagrangians, **hep-th/0401176**.
274. *Bashkirov B., Sardanashvily G.* Covariant Hamiltonian field theory. Path integral quantization, **hep-th/0402057**.
275. *Sardanashvily G.* 50 Years of gauge theory. Mathematical aspects, **hep-th/0406047**.
276. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Lagrangian supersymmetries depending on derivatives. Global analysis and cohomology, **hep-th/0407185**.
277. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric and algebraic topological methods in quantum mechanics, **math-ph/041040**.
278. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Polysymplectic Hamiltonian formalism and some quantum outcomes, **hep-th/0411005**.
279. *Bashkirov B., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Noether's second theorem in a general setting. Reducible gauge theories, **math/0411070**.
280. *Sardanashvily G.* On algebras of gauge transformations in a general setting, **math/0411635**.
281. *Bashkirov B., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Noether's second theorem for BRST symmetries, **math-ph/0412034**.
282. *Bashkirov B., Sardanashvily G.* Space-time BRST symmetries, **hep-th/0412232**.
283. *Bashkirov D., Sardanashvily G.* On the BV quantization of gauge gravitation theory**, hep-th/0501254.**
284. *Sardanashvily G.* The variational bicomplex on graded manifolds and its cohomology, **math/0504529**.
285. *Sardanashvily G.* Noether identities of a differential operator. The Koszul—Tate complex, **math/0506103**.
286. *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* The antifield Koszul—Tate complex of reducible Noether identities, **math-ph/0506034**.
287. *Sardanashvily G.* Geometry of classical Higgs fields, **hep-th/0510168**.
288. *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* On necessary and sufficient conditions of the BV quantization of a generic Lagrangian field theory, **hep-th/0511014**.
289. *Sardanashvily G.* On the mathematical hypothesis of phenomena like the confinement, **hep-th/0511111**.
290. *Sardanashvily G.* Gauge gravitation theory from the geometric viewpoint, **gr-qc/0512115**.
291. *Bashkirov D., Sardanashvily G.* Lagrangian BV quantization of Ward identities, **hep-th/0602213.**
292. *Sardanashvily G.* Green function identities in Euclidean quantum field theory, **hep-th/0604003.**
293. *Fiorani E., Sardanashvily G.* Noncommutative integrability on noncompact invariant manifolds, **math/0604104**.
294. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Quantization of noncommutative completely integrable Hamiltonian systems, **quant-ph/0604151**.
295. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Lagrangian and Hamiltonian dynamics of submanifolds, **math-ph/0604066.**
296. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Noether's inverse second theorem in homology terms, **math-ph/0605618.**
297. *Sardanashvily G.* Reduction of principal superbundles, Higgs superfields, and supermetric, **hep-th/0609070.**
298. *Fiorani E., Sardanashvily G.* Global action-angle coordinates for completely integrable systems with noncompact invariant submanifolds, **math/0610790.**

URSS

299. *Sardanashvily G.* Axiomatic classical (prequantum) field theory. Jet formalism, **hep-th/0612182.**
300. *Sardanashvily G.* A dilemma of nonequivalent definitions of differential operators in noncommutative geometry, **math/0702850.**
301. *Bashkirov D., Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* The KT-BRST complex of a degenerate Lagrangian system, **math-ph/0702097.**
302. *Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Quantum mechanics with respect to different reference frames, **quant-ph/0703266.**
303. *Sardanashvily G.* Axiomatic quantum field theory. Jet formalism, **0707.4257.**
304. *Sardanashvily G.* Graded infinite order jet manifolds, **0708.2434.**
305. *Sardanashvily G.* Relative nonrelativistic mechanics, **0708.2998.**
306. *Sardanashvily G.* On the mathematical origin of quantum space-time, **0709.3475.**
307. *Sardanashvily G.* Supermetrics on supermanifolds, **0801.0088.**
308. *Sardanashvily G.* Mathematical models of spontaneous symmetry breaking, **0802.2382.**
309. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* On the notion of gauge symmetries of generic Lagrangian field theory, **0807.3003.**
310. *Sardanashvily G.* Classical field theory. Advanced mathematical formulation, **0811.0331.**
311. *Sardanashvily G.* Superintegrable nonautonomous Hamiltonian systems, **0905.3842.**
312. *Sardanashvily G.* On incompleteness of classical field theory, **0905.3912.**
313. *Sardanashvily G.* Gauge conservation laws in a general setting. Superpotential, **0906.1732.**
314. *Sardanashvily G.* Fiber bundles, jet manifolds and Lagrangian theory. Lectures for theoreticians, **0908.1886.**
315. *Sardanashvily G.* Lectures on supergeometry, **0910.0092.**
316. *Sardanashvily G.* Lectures on differential geometry of modules and rings, **0910.1515.**
317. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Advanced mechanics. Mathematical introduction, **0911.0411.**
318. *Sardanashvily G.* Superintegrable Hamiltonian systems with noncompact invariant submanifolds. Kepler system, **0911.0992.**
319. *Sardanashvily G.* Differential operators on Lie and graded Lie algebras, **1004.0058.**
320. *Sardanashvily G.* Relativistic mechanics in a general setting, **1005.1212**.
321. *Sardanashvily G.* Differential operators on Schwartz distribution. Jet formalism, **1010.4768.**
322. *Sardanashvily G.* Classical gauge gravitation theory, **1110.1176.**
323. *Sardanashvily G.* Lagrangian dynamics of submanifolds. Relativistic mechanics, **1112.0216**.
324. *Sardanashvily G.* Grassmann-graded Lagrangian theory of even and odd variables, **1206.2508**.
325. *Sardanashvily G.* Fibre bundle formulation of time-dependent mechanics, **1303.1735.**
326. *Sardanashvily G.* Lectures on integrable Hamiltonian systems, **1303.5363.**
327. *Sardanashvily G.* Deviation differential equations. Jacobi fields, **1304.0706.**
328. *Sardanashvily G.* Remark on the Serre—Swann theorem for graded manifolds, **1304.1371.**
329. *Sardanashvily G., Kurov A.* Theory of classical Higgs fields. I. Matter fields, **1312.3696**.

URSS

ДОПОЛНЕНИЕ II

Три «сумасшедшие» идеи

Три предлагаемые ниже радикальные («сумасшедшие») математические идеи вряд ли имеют отношение к физической реальности, хотя…, но они, как и приведенная выше моя научная биография, демонстрируют методологию модельных структур в теоретической физике.

Дискретное пространство-время

В 1930 г. Д. Д. Иваненко и В. А. Амбарцумян, как уже отмечалось, выдвинули идею дискретности пространства-времени внутри атомного ядра, чтобы посредством введения фундаментальной длины решить некоторые проблемы, возникшие в то время в физике ядра. Идея дискретности тогда конструктивного развития не получила, но она возникает и в некоторых современных теориях, например при введении фундаментальной длины, и развивались целым рядом авторов, в том числе В. Гейзенбергом, Х. Снайдером, П. Калдиролла, И. Е. Таммом, как правило, в варианте решеток [*Вяльцев*]. Своего рода утилитарным её приложением стала известная калибровочная теория на решетках (так называемая «решеточная» квантовая хромодинамика), которая позволила сделать некоторые стимулирующие расчеты [*Smit*].

В наиболее общем плане идея *дискретного пространства-времени* основывается на представлении об элементарных попарно несвязных компонентах пространства, точки внутри которых не разделяются наблюдаемыми величинами [*Сарданашвили, 1978*]. Приемлемой формализацией такого дискретного пространства-времени могут быть *вполне несвязные топологические пространства Y*, в которых связной компонентой всякой точки является её замыкание, а в отделимых *Y* — сама эта точка [*Бурбаки, 1968*]. Примером подобного пространства служит *дискретное топологическое пространство*, где каждая точка является открытым множеством, а также рациональная прямая. К вполне несвязным топологическим пространствам относятся всевозможные топологические группы с топологией,

URSS

определяемой каким-либо семейством подгрупп [*Бурбаки, 1969*], и аналитические многообразия над полными недискретными полями с неархимедовыми абсолютными значениями $|a+b| \le \max(|a|,|b|)$ [*Ленг*].

В частности, в алгебраической квантовой теории вполне несвязные пространства возникают как спектр (пространство всех неприводимых представлений) некоторой *C**-алгебры наблюдаемых, например, алгебры вероятностных мер на множестве [*Гамелин*]. В моделях с расслоениями на C*-алгебры такой спектр играет роль обобщенного координатного пространства [*Giachetta, 2005*].

Квантовое расширение пространства-времени

Пространство-время в теории поля, за исключением некоммутативной теории поля, традиционно представляется как конечномерное гладкое многообразие, локально гомеоморфное *евклидову топологическому пространству* $\boldsymbol{R}^n$. Приведенная ниже теорема позволяет предположить, что такое пространство-время может быть расширено до пространства распределений Шварца, которое может трактоваться как своего рода квантовое продолжение классического пространства-времени [*Sardanashvily, arXiv: 0709.3475*].

Пусть $E = \boldsymbol{R}^n$ — упомянутое выше евклидово топологическое пространство. Обозначим $D(E)$ — ядерное пространство гладких комплексных функций с компактным носителем на E. Его топологическим дуальным $D'(E)$ (пространством непрерывных комплексных форм на $D(E)$) является *пространство распределений Шварца*, наделённое слабой* топологией [*Боголюбов*]. Поскольку $D(E)$ рефлексивно и сильная топология на $D'(E)$ совпадает со слабой* топологией, $D(E)$, в свою очередь, является топологическим дуальным $D'(E)$. Поэтому всякая непрерывная комплексная форма на $D'(E)$ полностью определяется своим ограничением

$$\langle \phi, \delta_x \rangle = \int \phi(x')\delta(x-x')d^n x' = \phi(x), \quad x \in E,$$

на подмножество $T_\delta(E) \subset D'(E)$ δ-функций.

Теорема. Сопоставление

$$s_\delta : E \ni x \to \delta_x \in D'(E)$$

является гомеоморфизмом E на подмножество $T_\delta(E) \subset D'(E)$ δ-функций, снабженное относительной топологией [*Sardanashvily, arXiv: 0709.3475*].

Как следствие, $T_\delta(E)$, наделённое операциями $\delta_x \oplus \delta_{x'} = \delta_{x+x'}$ и $\lambda \otimes \delta = \delta_{\lambda x}$, изоморфно топологическому векторному пространству E.

Более того, вложение $E \to T_\delta(E) \subset D'(E)$ является гладким отображением. Поэтому мы можем отождествить E с топологическим подпространством $E = T_\delta(E)$ пространства распределений Шварца. При этом, всякая гладкая функция ϕ с компактным носителем на $E = T_\delta(E)$ продолжается до непрерывной функции $\widetilde{\phi}(w) = \langle \phi, w \rangle$, $w \in D'(E)$, на $D'(E)$.

Имея такое продолжение, фиксируем некоторый элемент $W \in D'(E)$ пространства распределений Шварца и, вместо отображения s_δ, рассмотрим отображение

$$s_W : E \ni x \to \delta_x + W \in D'(E),$$

которое является погружением E в $D'(E)$. Тогда для всякой функции ϕ с компактным носителем на E определена её деформация до гладкой функции

$$\hat{\phi}(x) = \widetilde{\phi}(\delta_x + W) = \phi(x) + \langle \phi, W \rangle$$

на E, которую можно интерпретировать как квантовую деформацию функции ϕ в следующем смысле.

Пространство $D(E)$ является всюду плотным подмножеством *пространства Шварца* $S(E)$ гладких функций на E, быстро убывающих на бесконечности. Более того, вложение $D(E) \to S(E)$ непрерывно. Топологическим дуальным пространства $S(E)$ служит пространство *обобщенных функций* $S'(E)$ [*Боголюбов*]. Оно является подпространством пространства распределений Шварца $D'(E)$.

В квантовой теории поля рассматривается *алгебра Борхерса*

$$A_S = C \oplus S(E) \oplus S(E \oplus E) \oplus \cdots \oplus S(\overset{k}{\oplus} E) \oplus \cdots,$$

описывающая квантовое скалярное поле [*Хоружий*]. Наделённая топологией индуктивного предела, эта алгебра является ядерной *LF*-алгеброй, и поэтому линейная форма f на A_S непрерывна тогда и только тогда, когда её ограничение f_k непрерывно на каждом слагаемом $S(\overset{k}{\oplus} E)$. Поэтому всякая непрерывная положительная форма на A_S (*состояние* A_S) представляется семейством обобщенных функций $W_k \in S'(\overset{k}{\oplus} E)$, таких что

$$f_k(\phi) = \int W_k(x_1, ..., x_k) \phi(x_1, ..., x_k) d^n x_1 \cdots d^n x_k, \quad \phi \in S(\overset{k}{\oplus} E).$$

Например, состояние алгебры квантовых скалярных полей на пространстве Минковского $\boldsymbol{R}^4$ описывается *функциями Вайтмана* $W_k \in S'(R^{4k})$ [*Боголюбов*].

Всякое состояние *f* алгебры Борхерса A_S является состоянием также её подалгебры

$$A_S = C \oplus D(E) \oplus D(E \oplus E) \oplus \cdots \oplus D(\overset{k}{\oplus} E) \oplus \cdots .$$

Оно задаёт деформацию всякой функции $\phi \in D(\overset{k}{\oplus} E)$ на $\overset{k}{\oplus} E$ до гладкой функции

$$\hat{\phi}(z) = \phi(z) + \langle \phi, W_k \rangle, \quad z \in \overset{k}{\oplus} E,$$

которую, таким образом, можно трактовать как *квантовую деформацию* ϕ.

Поскольку такая деформация обусловлена продолжением пространства-времени до пространства распределений Шварца, последнее тоже можно интерпретировать как уже упоминавшееся квантовое расширение классического пространства-времени.

Категория праспиноров

Модель праспиноров — попытка описания объектов с простейшей алгебраической структурой [*Иваненко, 2012*].

Алгебраическая структура была выше определена как структура, характеризуемая отношениями композиции (см. *9. Математическая теория структур*). Если ограничиться лишь бинарными отношениями композиции, то есть отношениями отображения, мы приходим к понятию категории [*Маклейн*].

Как уже отмечалось, всякий морфизм множеств $\varphi : X \to Y$ является структурой на множестве, определяемой некоторым отношением отображения множеств, и, соответственно, конституентом универсальной структуры на классе всех множеств U, задаваемой некоторым отношением отображения множеств. *Категория* — это алгебраическая структура на классе U, задаваемая некоторым классом отношений отображений множеств.

Категория *K* характеризуется классом *Ob*[*K*] множеств — *объектов,* и классом *Hom*[*K*] их *морфизмов*, удовлетворяющих следующим условиям.

(а) Любой упорядоченной паре объектов (*Z,Z′*) сопоставляется некоторый класс морфизмов *Hom*[*Z,Z′*].

(б) Всякий морфизм $\varphi \in$ *Hom*[*K*] принадлежит только одному классу *Hom*[.,.].

(в) Для пар объектов (*Z,Z′*) и (*Z′,Z″*) определена композиция $\varphi \circ \phi \in$ *Hom*[*Z,Z″*] морфизмов $\phi \in$ *Hom*[*Z,Z′*] и $\varphi \in$ *Hom*[*Z′,Z″*]. Эта композиция ассоциативна.

URSS

(г) Каждый класс $Hom[Z,Z]$ содержит тождественный морфизм IdZ, такой что

$$\varphi \circ IdZ = \varphi \in Hom[Z,Z'] \text{ и } IdZ \circ \varphi = \varphi \in Hom[Z',Z].$$

Объектами категории как структуры являются элементы множеств $Z \in Ob[K]$, а отношениями — морфизмы $\varphi \in Hom[K]$.

Категория называется *малой*, если её класс морфизмов $Hom[K]$ — множество. В этом случае класс $Ob[K]$ объектов категории тоже является множеством, поскольку имеется его каноническое вложение

$$Ob[K] \ni Z \to IdZ \in Hom[K].$$

Отображение f категории K в категорию K' называется *функтором* и удовлетворяет следующим условиям:

- f — отображение класса $Ob[K]$ *в класс* $Ob[K]$,
- если $\phi \in Hom[Z',Z] \subset Hom[K]$, то $f(\phi) \in Hom[f(Z'),(Z)] \subset Hom[K']$,
- $f(IdZ) = Id(f(Z))$ для всех $Z \in Ob[K]$,
- композиция морфизмов $\varphi \circ \phi$ в K порождает композицию морфизмов $f(\varphi) \circ f(\phi) = f(\varphi \circ \phi)$ в K'.

Упомянутое выше каноническое вложение $Ob[K] \ni Z \to IdZ \in Hom[K]$ позволяет определить категорию как класс морфизмов, удовлетворяющих определенным условиям. Пусть M — класс, элементы которого α, β, γ наделены операцией частичного произведения. При этом, элемент $\kappa \in M$ называется *тождественным*, когда $\kappa\alpha = \alpha$ и $\beta\kappa = \beta$, если произведения $\kappa\alpha$ и $\beta\kappa$ определены. Тогда M именуется *абстрактной категорией*, если выполняются следующие условия.

(а) Произведение $\alpha(\beta\gamma)$ существует, если определены произведения $\alpha\beta$ и $\beta\gamma$.

(б) Произведение $\alpha(\beta\gamma)$ определено тогда и только тогда, когда определено произведение $(\alpha\beta)\gamma$, и эти два произведения равны.

(в) Для каждого элемента $\alpha \in M$ существуют тождественные элементы κ и κ', такие что определены произведения $\kappa\alpha$ и $\alpha k'$.

Морфизмы во всякой категории составляют абстрактную категорию. Обратно, элементы абстрактной категории являются морфизмами в категории K_M, имеющей своими объектами множества Z_κ для каждого тождественного элемента κ, состоящие из всевозможных допустимых произведений $\kappa\alpha$, $\alpha \in M$. Таким образом, существует взаимно однозначное соответствие между тождественными элементами абстрактной категории M и объектами категории K_M, *определяемой абстрактной категорией* M.

Таким образом, абстрактная категория M как структура является абстрактной структурой, контент которой составляют её же элементы $\kappa\alpha$.

Простейшей алгебраической структурой является абстрактная категория *M*, порождаемая единственным элементом *s*, таким что *ss* — тождественный элемент. Это минимальная группа Кокстера $\mathbf{Z}_2 = (s,\ s^2 = 1)$. Представленная как категория, она содержит один объект *Z*, состоящий из двух элементов $(\psi_1 = s, \psi_2 = 1)$, таких что $s\psi_1 = \psi_2$, $s\psi_2 = \psi_1$.

При этом, если на группе $\mathbf{Z}_2$ задать ещё операцию сложения, превратив её в групповую алгебру, то мы получим минимальную алгебру Клиффорда, где (ψ_1, ψ_2) является простейшим 2-спинором [*Lawson*]. Поэтому, имея в виду физические приложения, будем называть элемент $s,\ s^2 = 1,$ абстрактной категории $\mathbf{Z}_2$ *праспинором*, а саму эту абстрактную категорию — *минимальной категорией праспиноров* (см. *Дополнение I. Второй период. Другие модели*).

Попробуем теперь описать *систему праспиноров* [*Иваненко, 1978*]. Для этого рассмотрим абстрактную категорию *S*, в которой всякий тождественный элемент $\kappa \in S$ представляется квадратом s^2 некоторого нетождественного элемента $s \in S$. Назовем *S категорией праспиноров* $s \in S$, которые образуют в ней некоторый подкласс *S′*. Будем считать праспиноры *s* и *s′ независимыми*, если они порождают разные тождественные элементы $s^2 = \kappa \neq \kappa' = s'^2$. При этом, произведение *ss′* независимых праспиноров не определено.

Зададим на классе *S′* праспиноров бинарное отношение *R*, такое что $ss'R,\ s, s' \in S'$, если произведение *ss′* определено в *S*. Нетрудно убедиться, что *R* — отношение эквивалентности на *S′* и что два праспинора *s* и *s′* принадлежат одному классу эквивалентности тогда и только тогда, когда они порождают один и тот же тождественный элемент $s^2 = \kappa = \kappa' = s'^2$, то есть не являются независимыми. Опять же, предполагая физические приложения, назовем такие праспиноры *взаимодействующими*, а *R* — *отношением взаимодействия праспиноров*.

Будем предполагать, что всякий класс эквивалентности по отношению *R* является множеством, и тогда мы имеем фактор *Y* = *S′/R* класса праспиноров *S′* по отношению взаимодействия *R*. Нетрудно заметить, что фактор *S′/R* биективен классу $Ob[K_S]$ объектов *W* категории K_S, определяемой абстрактной категорией праспиноров *S*. При этом, всякий такой объект W_y — это некоторая группа Кокстера, порождаемая взаимодействующими праспинорами, составляющими класс $y \in Y$ (см. *Дополнение I. Другие модели*).

Примером группы Кокстера является группа A_2 симметрий триплета кварков, порождаемая двумя элементами (праспинорами) *s* и *s′* так, что $(ss')^3 = 1$. Поэтому группы Кокстера, являющиеся объектами категории K_S, можно интерпретировать как внутренние пространства системы прас-

пиноров, а класс этих объектов Y — в качестве внешнего пространства. Так, категория праспиноров, имеющая только один тождественный элемент и, таким образом, сама являющаяся группой Кокстера, представляет систему праспиноров только с внутренним пространством. Тогда как возникновение внешнего пространства можно связывать с тем, что праспиноры становятся независимыми. Обратный процесс взаимодействия праспиноров характеризуется функтором f из одной категории праспиноров в другую, который отождествляет $f(\kappa) = f(\kappa')$ до того разные тождественные элементы.

Таким образом, модель праспиноров предлагает механизм того, что называют *первичным фазовым переходом*. Как уже отмечалось, современные модели фундаментальных взаимодействий описывают их существующее разделение на сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия как цепочку неких фазовых переходов с нарушением единой внутренней симметрии (см. *7.2. Материя как иерархия структур*). Развивая эту концепцию, нами была выдвинута гипотеза, что, если не планковская, то допланковская Вселенная (условно $t < 0$) представляла собой единое образование («прасгусток»), без различия на частицы, поля, вакуум, пространство, и его разделение на «праматерию» и «прагеометрию» в результате упомянутого выше первичного фазового перехода дало начало эволюции Вселенной [*Иваненко*, 2012].

В модели праспиноров такой «прасгусток» мог бы описываться той или иной категорией праспиноров без внешнего пространства, а первичный фазовый переход представляется как переход к категории праспиноров с внешним пространством, характеризующим появление независимых праспиноров.

URSS

Библиография

1. *Арнольд В. И.* Математические методы классической механики. М.: Наука, 1978.
2. *Ахиезер А. И., Берестецкий В. Б.* Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1969.
3. *Басин Е. Я., Поляков М. Я.* (Ред.) Структурализм: «за» и «против». М.: Прогресс, 1975.
4. *Вилли К. Детье В.* Биология. М.: Мир, 1975.
5. *Вяльцев А. Н.* Дискретное пространство-время. М.: Наука, 1965.
6. *Боголюбов Н. Н., Логунов А. А., Оксак А. И., Тодоров И. Т.* Общие принципы квантовой теории поля. М.: Наука, 1987.
7. *Булинский А. В.* Об одном результате Р. Кадисона и Дж. Рингроуза // Теоретическая и математическая физика. 1972. Т. 12. С. 197.
8. *Бурбаки Н.* Очерки по истории математики. М.: ИЛ, 1963.
9. *Бурбаки Н.* Теория множеств. М.: Мир, 1965.
10. *Бурбаки Н.* Общая топология. Основные структуры. М.: Физматгиз, 1968.
11. *Бурбаки Н.* Общая топология. Топологические группы. Числа и связанные с ними группы и пространства. М.: Наука, 1969.
12. *Бурбаки Н.* Группы и алгебры Ли. Группы Кокстера и системы Титса. Группы, порождённые отражениями. Системы корней. М.: Мир, 1972.
13. *Виноградов А. М., Красильщик И. С., Лычагин В. В.* Введение в геометрию нелинейных дифференциальных уравнений. М., 1986.
14. *Гамелин Т.* Равномерные алгебры. М., 1973.
15. *Гриб А.* Проблемы неинвариантности вакуума в квантовой теории поля. М., 1978.
16. *Гринев-Гриневич С. В., Сорокина Э. А., Скопюк Т. Г.* Основы антрополингвистики (к лингвистическим основаниям эволюции мышления). М., 2008.
17. *Гуссерль Э.* Избранные работы. М., Изд. дом «Территория будущего», 2005.
18. *Даниэль Д., Виалле С.* Геометрический подход к калибровочным теориям типа Янга—Миллса // Успехи физических наук. 1982. Т. 136. С. 377.
19. *Диксмье Ж.* C*-алгебры и их представления. М.: Наука, 1974.
20. *Зуланке Р., Винтген П.* Дифференциальная геометрия и расслоения. М.: Мир, 1975.
21. *Иваненко Д.* (ред.) Элементарные частицы и компенсирующие поля. М.: Мир, 1964.
22. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* К модели праспинора // Известия вузов СССР, Физика. 1978. № 10, С. 78.
23. *Иваненко Д. Д., Пронин П. И., Сарданашвили Г. А.* Калибровочная теория гравитации. М., Изд. Моск. Ун-та, 1985.
24. *Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А.* Гравитация. 5-е изд. М.: URSS, 2012.
25. *Иваницкий А. М., Стрелец В. Б., Корсаков И. А.* Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М.: Наука, 1984.
26. *Кобаяси Ш., Номидзу К.* Основы дифференциальной геометрии. Т. 1. М.: Наука, 1981.
27. *Кадич А., Эделен Д.* Калибровочная теория дислокаций и дисклинаций, М.: Мир, 1987.
28. *Косиков Г. К.* От структурализма к постструктурализму (проблемы методологии). М.: Рудомино, 1998.
29. *Куратовский К.* Топология. Т. 1. М.: Мир, 1966.
30. *Куратовский К., Мостовский А.* Теория множеств. М.: Мир, 1970.

URSS

31. *Леви-Стросс К.* Структурная антропология. М.: Экмо-Пресс, 2001.
32. *Лем С.* Солярис // Избранное / Пер. Д. Брускина. Л.: Лениздат, 1981. С. 233–404.
33. *Ленг С.* Алгебра. М.: Мир, 1968.
34. *Маковельский А. О.* История логики. М., 1967.
35. *Маклейн С.* Гомология. М.: Мир, 1966.
36. *Маслов В. П.* Квантовая экономика. М.: Наука, 2006.
37. *Мах Э.* Механика. М.: URSS, 2011.
38. *Никитин М. А.* Биогенез // Химия и жизнь. 2013. № 1–4, 6–12.
39. *Норт Д.* Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997.
40. *Орехов А. М., Чаплыгина И. Г.* Категория собственности и экономическая теория // Онтологические предпосылки экономических теорий. Серия Теоретическая экономика. Сб. под ред. О. И. Ананьина. М.: ИЭ РАН, 2011. С. 51–95.
41. *Пиаже Ж., Инельдер Б.* Генезис элементарных логических структур. М.: ИЛ, 1963.
42. *Рамон П.*, Теория поля. Современный вводный курс. М.: Мир, 1984.
43. *Розенталь М. М.* (ред.) Философский словарь. М.: Изд. политической литературы, 1975.
44. *Романовский М. Ю., Романовский Ю. М.* Введение в экономфизику. Статистические и динамические модели. М.; Ижевск: Ин-т Компьютерных исследований, 2012.
45. *Сарданашвили Г. А.* Дискретное пространство-время // Математическая энциклопедия. Т. 2. С. 205. М.: Изд. Советская энциклопедия, 1978.
46. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. Т. 1. Геометрия и классические поля. М.: URSS, 1996.
47. *Сарданашвили Г. А.* Фоновая геометрия в калибровочной теории гравитации // Теоретическая и математическая физика. 1998. Т. 114. С. 470.
48. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. Т. 2. Геометрия и классическая механика. М.: URSS, 1998.
49. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. Т. 3. Алгебраическая квантовая теория. М.: URSS, 1999.
50. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. Т. 4. Геометрия и квантовые поля. М.: URSS, 2000.
51. *Сарданашвили Г. А.* Дмитрий Иваненко — суперзвезда советской физики. Ненаписанные мемуары. М.: URSS, 2010.
52. *Сарданашвили Г. А.* Современные методы теории поля. Т. 5. Гравитация. М.: URSS, 2011.
53. *Сарданашвили Г. А.* Я — ученый. Заметки теорфизика. М.: URSS, 2011.
54. *Сарданашвили Г. А.* О понятии математической структуры // Preprint MP-MSU/015/11/13, 2013.
55. *Сёрль Дж. Р.* Природа интенциональных состояний // Философия, логика, язык. М., 1987.
56. *Синельников Р. Д., Синельников Я. Р.* Атлас анатомии человека. М., 1996.
57. *Славнов А. А., Фаддеев Л. Д.* Введение в квантовую теорию калибровочных полей. М.: Наука, 1978.
58. *Успенский В. А.* Теоремы Гёделя о неполноте. М.: Наука, 1982.
59. *Френкель А., Бар-Хиллел И.* Основания теории множеств. М.: Мир, 1966.
60. *Хайдеггер М.* Бытие и время. СПб.: Наука, 2002.
61. *Хокинг С., Эллис Дж.* Крупномасштабная структура пространства-времени. М.: Мир, 1977.
62. *Хоружий С.* Ведение в алгебраическую квантовую теорию поля. М.: Наука, 1986.
63. *Шенфилд Дж.* Математическая логика. М.: Наука, 1975.
64. *Abraham R., Marsden J.* Foundations of Mechanics, Second Edition. Benjamin Commings Publ. Comp., London, 1978.

URSS

65. *Barnich G., Brandt F., Henneaux M.* Local BRST cohomology in gauge theories // Physics Reports. 2000. Vol. 338. P. 439.
66. *Bartocci C., Bruzzo U., Hernández Ruipérez D.* The Geometry of Supermanifolds. Kluwer, Dordrecht, 1991.
67. *Eguchi T., Gilkey P., Hanson A.* Gravitation, gauge theories and differential geometry // Physics Reports. 1980. Vol. 66. P. 213.
68. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric and Topological Algebraic Methods in Quantum Mechanics. World Scientific, Singapore, 2005.
69. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Advanced Classical Field Theory. World Scientific, Singapore, 2009.
70. *Giachetta G., Mangiarotti L., Sardanashvily G.* Geometric Formulation of Classical and Quantum Mechanics. World Scientific, Singapore, 2010.
71. *Gomis J., Parìs J., Samuel S.* Antibracket, antifields and gauge theory quantization // Physics Reports. 1995. Vol. 295. P. 1.
72. *Hehl F., McCrea J., Mielke E., Ne'eman Y.* Metric-affine gauge theory of gravity: field equations, Noether identities, world spinors, and breaking of dilaton invariance // Physics Reports. 1995. Vol. 258. P. 1.
73. *Jech T.* Set Theory: The Third Millennium Edition, Revised and Expanded. Springer, 2003.
74. *Kolár I., Michor P., Slovák J.* Natural Operations in Differential Geometry. Springer, Berlin, 1993.
75. *Lawson H., Michelsohn, M.-L.* Spin Geometry. Princeton Univ. Press, Princeton, 1989.
76. *Liberman P.*, *Marle C-M.* Symplectic Geometry and Analytical Mechanics. D. Riedel Publ. Comp., Dordrecht, 1987.
77. *Novaes S.* Standard model: An Introduction // arXiv: hep-ph/0001283, 2000.
78. *Van Nieuwenhuizen P.* Supergravity // Physics Reports. 1981. Vol. 68. P. 189.
79. *Roos M.* Dark Matter: The evidence from astronomy, astrophysics and cosmology // *arXiv*: 1001.0316, 2010.
80. *Sardanashvily G., Giachetta G.* What is geometry in quantum theory, // arXiv: hep-th/0401080, 2004.
81. *Sardanashvily G.* Relative non-relativistic mechanics // arXiv: 0708.2998, 2007.
82. *Sardanashvily G.* On the mathematical origin of quantum space-time // arXiv: 0709.3475, 2007.
83. *Saunders D.* The Geometry of Jet Bundles. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1989.
84. *Smit J.* Introduction to Quantum Fields on a Lattice. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2002.
85. *Steenrod N.* The Topology of Fibre Bundles. Princeton Univ. Press, Princeton, 1972.

UFRGS

Глоссарий терминов

Абсолютное универсальное сознание — бытие идеальное и как сущее (абстрактная универсальная структура), и как существование (интенциональность) — «Оно».

Абсолютный универсум — собственный класс, являющийся объединением всех множеств.

Абстрактная структура — структура, реализуемая на своих элементах.

Абстрактная универсальная структура — универсальная структура на универсуме всех множеств.

Абстрактное значение сенсо-понятия — множество сенсо-понятий, являющихся частностями данного сенсо-понятия; его значение как понятия.

Абстрактное мышление — мышление, контент которого составляют абстрактные понятия.

Абстрактное понятие — понятие, значение которого содержит не только сенсо-понятия.

Абстрактный смысл сенсо-понятия — отношение, в котором состоят сенсо-понятия, являющиеся частностью данного сенсо-понятия; его смысл как понятия.

Абстрактно-чувственное восприятие — когнитивно-чувственное восприятие, контент которого включает абстрактные понятия.

Активация сенсорного символа — сенсорный символ, ставший объектом нервной деятельности.

Активация сенсо-понятия — активация его типичной корреляционной схемы как объекта психики.

Активация понятия — понятие, ставшее объектом мышления.

Алгебраическая структура — структура, определяемая отношениями композиции.

Ассоциативное понятие — понятие, смысл которого не вполне определен.

Атрибут — дериватив системы, если последняя является как необходимым, так и достаточным условием его существования.

Базовые элементы — элементы структуры, характеризующие её тип; например, каждый из двух элементов структуры алгебры является базовым.

Базовый контент — объекты структуры, в отсутствии которых, данная структура не существовала бы.

Бог — интенциональное «Оно», если делать акцент на аспекте интенциональности как субъективной обусловленности.

URSS

Булеан — множество 2^X всех подмножеств данного множества X.

Бытие (в терминах структур) — универсальная структура.

Бытие идеальное — бытие, частностями которого являются идеальные системы.

Бытие идеальное (в терминах структур) — универсальная абстрактная структура на универсуме всех множеств (ипостась сущее).

Бытие как сущее (в терминах структур) — бытие как структура безотносительно онтологии её контента.

Бытие как существование (в терминах структур) — бытие как структура, контент которой дополнительно имеет онтологическую характеристику, в самом общем виде, что «он есть».

Бытие материальное — бытие, частностями которого являются материальные системы.

Бытие материальное (в терминах структур) — универсальная структура на абсолютном универсуме (ипостась сущее) как структура с носителем (ипостась существование).

Вербальный знак — знак, являющийся сенсорным символом некоторого набора звуков.

Внешний мир — объективная реальность.

Высказывательная функция — функция на множестве символов и формулах формальной системы со значениями «истинно» и «ложно».

Дериватив — онтологическое понятие, вообще говоря, за рамками теории структур, такое что система *A* является деривативом системы *B*, если в отсутствии *B* не существовало бы и *A*; например, структура на носителе является его деривативом.

Дуализм — признание отдельно и бытия материального, и бытия идеального и как сущее, и как существование.

Дуализм «Я» и «не Я» — отчуждение и преодоление отчуждения «Я» и «не Я».

Живая природа — реальность, имеющая своими частностями живые структуры.

Живая структура — структура, участвующая в своём воспроизведении, то есть в возникновении себе подобной структуры, которая не могла бы появиться, если бы исходной структуры не было.

Жизнь — живая структура.

Знак понятия — ассоциированный с этим понятием сенсорный символ.

Знак сенсо-понятия — ассоциированный с ним сенсорный символ, являющийся общим знаком сенсорных символов со схожей корреляционной схемой, составляющих чувственное значение данного сенсо-понятия.

Знак сенсорного символа — другой сенсорный символ (например, вербальный), сопоставляемый данному в целях коммуникации.

Знаковое мышление — мышление, когда корреляции понятий представлены комбинациями их (не только вербальных) знаков, структурированными смыслом этих понятий.

URSS

Знание (в терминах структур) — образ представления в сознании (или, эквивалентно, само представление), объект которого не является образом самоотнесения из «Я».

Значение знака — сенсорный символ, которому это знак сопоставлен.

Значение понятия — множество понятий, являющихся его частностями; в случае сенсо-понятия — его абстрактное значение.

Значение сигнала — значение знака, которому этот чувственный стимул специфичен.

Идеальная система (в терминах структур) — абстрактная структура.

Изоморфизм отношений — соотнесение множеств $X \leftrightarrow Y$, наделённых отношениями, когда образ на Y (соотв. на X) отношения на X (соотв. на Y) совпадает с отношением на Y (соотв. на X).

Изоморфизм структур — соотнесение множеств, являющееся изоморфизмом отношений, определяющих эти структуры.

Имманентная активность — имманентное свойство жизни как самовоспроизводящейся структуры.

Индуцированная структура — прообраз структуры.

Интенциональность — имманентная активность сознания, способность соотнесений.

Истина — частность знания, адекватно представляющая некоторую частность реальности.

Истинное представление структуры — представление, обратный образ которого является конституентом исходной структуры.

Когнитивно-чувственное восприятие — формирование когнитивно-чувственного образа.

Когнитивно-чувственный образ — образ реальности, контент которого включает как сенсорные символы, так и понятия как базовые объекты.

Композиция — образ отображение $\mu : X^n \to X$.

Конвенциональная реальность — субъективное «не-Я».

Конвенциональное знание — познание конвенциональной реальности.

Конституент структуры — структура, множество определяющих отношений которой является подмножеством множества определяющих отношений данной структуры.

Контент отношения — подмножество универсума X, такое что всякий его элемент находится в отношении с какими-либо элементами X, не исключая самого себя.

Контент структуры — подмножество универсума X, такое что всякий его элемент находится хотя бы в одном из отношений, определяющих структуру, с какими-либо элементами X, не исключая самого себя.

Корреляционная схема сенсорного символа — дериватив сенсорного символа, по которому они сопоставляются как схожие.

URSS

Корреляция — композиция или, эквивалентно, отношение композиции.

Корреляция нервных возбуждений — нервное возбуждение, которое не существовало бы в отсутствии кого-либо из коррелирующих нервных возбуждений.

Корреляция структур — композиция элементов множества структур.

Логическое мышление — абстрактное мышление посредством суждений.

Математика — наука о множествах.

Материализм — признание бытия материального при отрицании бытия идеального как существование.

Материальная система (в терминах структур) — структура с носителем.

Материя — неживая природа как физическая система.

Мнение — знание, выраженное системой суждений.

Морфизм структуры в структуру — отображение множеств $\varphi : Y \to X$, когда образ $\varphi(J)$ на X структуры J на Y является частностью структуры I на X.

Морфизм отношения — соотнесение множеств $X \leftrightarrow Y$, наделённых отношениями, когда образ на Y отношения на X является частностью отношения на Y.

Мышление (в терминах структур) — процесс корреляции понятий.

Мышление суждениями — мышление, когда корреляция понятий имеет форму суждений.

Наука — особая форма познания (научное познание), предметом которой являются воспроизводящиеся (реально или гипотетически) частности реальности, включая конвенциональную реальность.

Научное знание — образ научного познания в общественном сознании.

Неживая природа — природа, исключая живую природу как её весьма специфическую форму.

Непротиворечивость — выполнение закона противоречия.

Нервная деятельность (в терминах структур) — структура, контент которой составляют нервные возбуждения.

Нервная система — анатомическая структура, образованная нервными клетками.

Нервное возбуждение (в терминах структур) — структура на множестве нервных клеток.

«Не-Я» — конституент сознания, имеющий своими базовыми элементами соотнесения, объекты которых не являются субъектами самоотнесений.

Носитель структуры — контент структуры, который не представляется её элементами.

Область отношения — подмножество множества X^n, в точках которого отношение истинно; она часто называется просто отношением.

Образ отношения — образ n-арного отношения R на множестве X при его соотнесении $X \leftrightarrow Y$ с множеством Y, состоящий из тех и только тех точек Y^n, которые соотносятся с точками из области R в X^n.

URSS

Образ соотнесения (в терминах структур) — образ объекта соотнесения при соотнесении как морфизме структур, являющийся представлением объекта.

Образ структуры — структура, определяемая образами отношений при соотнесении множеств.

Образное мышление — мышление, когда понятия подменяются их чувственными примерами, которые могут предъявляться как чувственные представления.

Общество (в терминах структур) — структура, базовым контентом которой является социум.

Общественная мысль — корреляции объектов общественного сознания.

Общественное бытие — общество.

Общественное сознание социума — его атрибут, базовый контент которого составляют объекты индивидуального сознания, если они отождествляются при коммуникации между членами социума.

Объект отношения — элемент контента отношения.

Объект соотнесения (в терминах структур) — его объект как морфизма структур.

Объект структуры — элемент контента структуры.

Объективная реальность — частности реальности, на которых соотнесение с человеческим сознанием никак не сказывается.

Объективное «не-Я» — конституент «не-Я», порождаемый соотнесениями, не являющимися самоотнесениями, то есть их объекты не является субъектами каких-либо соотнесений.

«Оно» — бытие идеальное как существование, ипостасью существование которого является интенциональность — абсолютное универсальное сознание.

Оппозиционность — отношение субъекта и объекта соотнесения.

Осознаваемый образ реальности — образ реальности, который также является субъектом самоотнесения, то есть включает в качестве конституента образ самоотнесения.

Осознаваемая реальность — предмет познания, включающий осознаваемые образы реальности и конвенциональную реальность.

Осознание — узнавание, образ которого является субъектом самоотнесения, то есть включает в качестве конституента образ какого-либо самоотнесения.

Отношение (на множестве) — функция R на n-кратном прямом произведении $X^n = \overset{n}{\times} X$ этого множества со значениями 1 и 0 и эквивалентно подмножество $R \subset X^n$.

Отношение композиции — $(n+1)$-арное отношение R_μ на множестве X, задаваемое отображением $\mu : X^n \to X$, такое что $x_1 \ldots x_n \mu(x_1, \ldots, x_n) R_\mu$, а из условий $x_1 \ldots x_n q R_\mu$ и $x_1 \ldots x_n p R_\mu$ следует $q = p$.

URSS

Отношение многозначной композиции — $(n+1)$-арное отношение R_μ на множестве X, задаваемое многозначным отображением $\mu : X^n \to X$, такое что $x_1 \ldots x_n \mu(x_1, \ldots, x_n) R_\mu$; всякое n-арное отношение является таковым.

Отношение отбора — одинарное отношение $R \subset X$.

Отношение отбора сенсорных символов — отношение по схожести их корреляционных схем.

Отношение отображения — бинарное отношение композиции R на множестве X, задаваемое отображением $x \to q$ множества X в себя, такое что из условий xqR и xpR следует $q = p$.

Отношение порядка — отношение частичного порядка, когда любые два элемента множества находятся в этом отношении.

Отношение схожести — отношение эквивалентности $R^2 \subset X^2$ на X с единственным классом эквивалентности $R \subset X$, задающим отношение отбора на X.

Отношение схожести сенсорных символов — отношение схожести, определяемое схожестью корреляционных схем сенсорных символов.

Отношение частичного порядка — бинарное отношение R на множестве X, удовлетворяющее условиям: 1) xxR для всех $x \in X$, то есть X — его контент; 2) если xyR и yzR, то xzR; 3) если xyR и yxR, то $x = y$; отношение частичного порядка обычно обозначают $x \le z$.

Отношение частности структур — отношение частичного порядка на множестве структур, такое что $\mathrm{A} \le B$, если структура A является частностью структуры B; аналогично определяется другие отношения частности.

Отношение эквивалентности — бинарное отношение R на множестве X, такое что: 1) xxR для всех $x \in X$, то есть X — его контент; 2) если xyR и yzR, то xzR; 3) если xyR, то yxR.

Ощущение — предъявленный сенсорный символ (чувственный образ) внешнего чувственного стимула.

Подсознание — конституент сознания, порождаемый соотнесениями, образы которых не являются объектами самоотнесений.

Познание — представление «не-Я» в «Я», то есть то знание, которое в «Я».

Полное речевое сообщение — речевое сообщение, имеющее смысл и интонационно законченное.

Понятие — элемент множества, содержащего в себе множество сенсо-понятий, на котором определено отношение частичного порядка, являющееся на сенсо-понятиях отношением их частности.

Предикат — отношение на множестве.

Представление — понятие с не вполне определенным значением.

URSS

Представление структуры — морфизм структур $\varphi : J \to I$, когда образ J_φ структуры J является конституентом структуры I.

Предъявление — конституент сознания, когда составляющие его контент понятия предъявлены.

Предъявленное понятие — понятие, знак, или чувственный пример которого предъявлен.

Предъявленный сенсорный символ — его чувственное представление.

Природа — объективная реальность.

Простое речевое сообщение — речевое сообщение, которое не содержит в себе более короткое полное речевое сообщении.

Псевдореальность — субъективное «не-Я».

Психика (в терминах структур) — структура, базовый контент которой составляют сенсорные символы.

Реальность — частности бытия материального (материальные системы), с которыми реально или гипотетически, прямо или косвенно соотносится сознание, то есть выступающие как объекты соотнесений, не будучи их субъектами.

Речевое высказывание — повествовательное речевое предложение, которому можно поставить в соответствие логическое значение: ложь или истина.

Речевое предложение — полное речевое сообщение.

Речевое сообщение — комбинация звуковых сигналов, упорядоченная по смыслу представляемых ими понятий.

Самоотнесение — соотнесение, объектом которого является субъект некоторого соотнесения.

Самосознание (в терминах структур) — конституент сознания, базовыми элементами которого являются самоотнесения.

Самосознание человека — конституент человеческого сознания, контент которого составляют абстрактные понятия, а механизм самоотнесения — это абстрактное мышление.

Свобода — возможность реализации имманентной активности живой структуры.

Связная структура — структура, не являющаяся объединением независимых структур.

Сенсо-понятие — типичная корреляционная схема схожих сенсорных символов, отчуждённая от них и привязанная к их знаку.

Сенсо-понятие (в терминах структур) — структура, определяемая отношениями схожести и отбора сенсорных символов со схожими корреляционными схемами, которые трактуются, соответственно, как смысл и чувственное значение сенсо-понятия.

Сигнал — чувственный стимул, специфичный для знака сенсорного символа или понятия.

URSS

Смысл сенсо-понятия — отношение схожести сенсорных символов; его класс эквивалентности задаёт отношение отбора — чувственное значение сенсо-понятия.

Совпадающие структуры — изоморфные структуры.

Согласованные структуры — структуры, пересечение которых не пустая структура.

Сознание (в терминах структур) — структура, базовыми конституентами которой являются соотнесения.

Солипсизм — отрицание бытия материального.

Соотнесение (в терминах структур) — морфизм структур при соотнесении множеств.

Соотнесение множеств — их многозначное отображение, при котором образом отображаемого элемента является множество, в том числе, возможно, пустое.

Социум — некоторое множество людей, каждый из которых находится в коммуникационном контакте с кем-то из остальных.

Структура — семейство систем отношений.

Структура отбора — структура, определяемая отношениями отбора.

Структура отображения — структура, определяемая отношением отображения.

Структура прообразов — структура на области отображения, определяемая прообразами элементов его образа.

Структура частичного порядка — структура, задаваемая отношением частичного порядка и определяемыми им отношениями отбора.

Структура частностей — структура частичного порядка по отношению частностей.

Структурализм — методология научного познания, когда объектом познания являются структуры сами по себе, без апелляции к природе носителя.

Субъект морфизма структур — структура, конституентом которой является образ этого морфизма.

Субъект соотнесения (в терминах структур) — его субъект как морфизма структур.

Субъективное «не-Я» — конституент «не-Я», порождаемый самоотнесениями, объекты которых — это субъекты соотнесений, но не самоотнесений.

Суждение — упорядоченная по смыслу комбинация понятий, подлежащих знаменательным словам речевого сообщения.

Схожие сенсорные символы — сенсорные символы со схожими (совпадающими) корреляционными схемами.

Теоретическая физика — квантовая теория и теория фундаментальных взаимодействий (электрослабого, сильного и гравитационного), включая астрофизические и космологические модели.

Теоретический образ — образ, контент которого составляют теоретические понятия.

Теоретическое знание — знание, контент которого составляют теоретические понятия.

URSS

Теоретическое понятие — понятие, значение которого не содержит сенсо-понятия.

Тип структуры — класс эквивалентности структур на множестве.

Типичная корреляционная схема — реплика корреляционных схем схожих сенсорных символов, присоединенная к их знаку.

Тождественное представление структуры — представление структуры $\varphi : J \to I$, когда образ $\varphi(J)$ структуры J эквивалентен структуре I.

Узнавание — акт представления, являющегося знанием.

Универсальная структура — структура, такая что всякая структура является её конституентом.

Универсальная структура (математика) — структура, порождаемая всевозможными подмножествами собственного класса всех множеств.

Универсальная структура на множестве — структура, порождаемая всевозможными подмножествами булеана 2^X множества X.

Универсальное отношение — n-арное отношение $S = X^n$, такое что всякое n-арное отношение на множестве X является его частностью.

Универсум — множество, на котором задано отношение.

Универсум структуры — множество, на котором задана структура.

Универсум всех множеств — универсум фон Неймана всех множеств при выполнении аксиомы регулярности.

Универсум фон Неймана — явная (конструктивно построенная) модель собственного класса, элементами которой являются правильные (well-founded) множества.

Фундаментальная наука — наука, открывающая новые законы; прикладная наука апробирует уже известные законы в утилитарных целях, а технологическая (техническая) наука разрабатывает желаемый продукт и технологии его производства.

Фундаментальная физика — теоретическая физика, квантовая физика, физика элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий (электрослабого, сильного и гравитационного), астрофизика и космология.

Частность отношения — отношение, область которого принадлежит области данного отношения.

Частность понятия — отношение частичного порядка на множестве понятий, которое на подмножестве сенсо-понятий является их отношением частности.

Частность сенсо-понятия — сенсо-понятие, чувственное значение которого принадлежит чувственному значению данного сенсо-понятия.

Частность структуры — структура, задаваемая частностями отношений, определяющих данную структуру.

Человеческое сознание (в терминах структур) — структура, контент которой составляют понятия, а базовый контент — сенсо-понятия.

Чувственное восприятие — формирование ощущения или чувственного образа.

URSS

Чувственное знание — знание, контент которого составляют сенсорные символы.

Чувственное значение сенсо-понятия — отношение отбора схожих сенсорных символов, корреляционные схемы которых совпадают с типичной корреляционной схемой данного сенсо-понятия.

Чувственное представление — это, когда нервное возбуждение при активации сенсорного символа в режиме самодействия направляется в проекционные сенсорные зоны, где предъявляется как подобие ощущения.

Чувственный образ — образ реальности, контент которого составляют сенсорные символы.

Чувственный представитель сенсо-понятия — сенсорный символ из чувственного значения сенсо-понятия.

Чувственный пример понятия — чувственный представитель сенсо-понятия, входящего в значение данного понятия, или являющегося вместе с данным понятием (например, теоретическим) частностями более общего понятия.

Чувственный стимул — чувственное возбуждение.

Эквивалентные отношения — изоморфные отношения на одном и том же универсуме, если их изоморфизм — биекция их контентов.

Эквивалентные структуры — изоморфные структуры на одном и том же универсуме, если их изоморфизм — биекция их контентов.

Элемент структуры — определяющее её отношение.

Элементарная структура — структура, не содержащая отличного от неё непустого конституента.

«Я» — конституент (субъект рефлексии) самосознания, порождаемый самоотнесениями, объектами которых выступают субъекты тоже самоотнесений.

«Я» человеческого сознания — конституент самосознания человека, контент которого составляют теоретические понятия.

Язык — вербальная знаковая система.

Языковое мышление — мышление посредством суждений.

URSS

Предметный указатель

А

абсолютное пространство Ньютона, 113
абсолютное универсальное сознание, 158
абсолютный универсум, 101
абстрактная категория, 211
абстрактная структура, 145
абстрактная универсальная структура, 147
абстрактное значение сенсо-понятия, 55
абстрактное мышление, 63
абстрактное понятие, 56
абстрактное пополнение структуры, 146
абстрактно-чувственное восприятие, 61
абстрактный контент, 145
австралопитек, 48
аксиома, 93
аксиома (логика), 107
аксиома бесконечности, 97
аксиома выбора, 99
аксиома индукции, 110
аксиома объёмности, 97
аксиома регулярности, 100
аксиома степени, 97
аксиоматика типа Цермело, 100
аксиоматика типа Цермело—Френкеля, 100
аксиоматика фон Неймана—Бернайса—Гёделя, 100
аксиоматика Цермело—Френкеля, 100
аксон, 34
активация сенсо-понятия, 52
активация сенсорного символа, 44
алгебра Борхерса, 209
алгебраическая структура, 138
алгебраическое квантование, 114
антропоморфность человеческого сознания, 14
арифметика Пеано, 109
ассоциативная зона, 38
ассоциативное понятие, 57
ассоциативность сознания, 57
ассоциирование сенсорных символов, 45
атом (логика), 109
атрибут, 72
афазия Брока, 48
афазия Вернике, 59
афферентная информация, 35
афферентные пути, 35
аффинно-метрическая теория, 169

Б

базальные ядра, 36
базовый контент, 9
белое вещество, 35
Бог, 158
борозды головного мозга, 37
БРСТ теория, 183
булеан, 97
бытие, 70
бытие идеальное, 70
бытие как сущее, 70
бытие как существование, 70
бытие материальное, 70

В

вариационный бикомплекс, 181
вариационный принцип, 180
варопиев мост, 35
вегетативная нервная система, 34
вербализация, 59
вербальный знак, 51
взаимодействующие праспиноры, 212
виковский поворот, 172

URSS

внешний мир, 72
воля, 29
воспроизведение, 28
восходящие пути, 35
вполне интегрируемая гамильтонова система, 186
вполне несвязные топологические пространства, 207
вставочный нейрон, 34
вторая теорема Нётер, 183
вывод (логика), 107
выводное знание, 93
выполнимая формула, 109
выражение, 107
высказывательная функция, 108
высшие приматы, 48

Г

ганглии, 34
ганглионарная нервная система, 34
генетическая изменчивость, 31
геометрическая фаза Берри, 185
геометрический принцип эквивалентности, 169
геометрическое квантование, 114
геометрия инвариантов, 169
гипоталамус, 36
гипотеза континуума, 102
гипофиз, 36
гиппокамп, 43
голдстоновское поле, 168
головной мозг, 35
головной мозг человека, 35
гоминины, 48
гомотопическая группа, 111
гомотопическая эквивалентность, 111
гравитационная сингулярность, 170
градуированное многообразие, 182
группа Кокстера, 167

Д

декодирование, 60
дендрит, 34
денисовский человек, 49
дериватив, 71
дериватив ссылающийся, 72
деформационное квантование, 114
диалектика, 88
дизъюнкция, 108
дискретное пространство-время, 207
дискретное топологическое пространство, 207
диссоциирование от сенсорных символов, 52
диссоциирование понятия, 54
дифференциальное уравнение, 173
дифференциальный оператор, 173
диффузная нервная система, 33
долговременная память, 43
древняя кора, 37
дуализм, 72
дуализм «Я» — «не Я», 79
духовое поле, 184

Е

евклидово топологическое пространство, 208

Ж

желание, 29
живая природа, 73
живая структура, 28
жизнь, 27

З

задача Коши, 105
закон противоречия, 93
звездчатые нейроны, 37
звуковой код, 51
знак (логика), 107
знак понятия, 58
знак сенсо-понятия, 53
знак сенсорного символа, 51
знаковое мышление, 63
знание, 83
значение знака, 51
значение понятия, 55
значение сигнала, 51

И

идеальная система, 70
извилины, 37
изоморфизм отношений, 136
изоморфизм структур, 144
имманентная активность, 29
имманентное свойство, 28
импликация, 107
инвариантное подмногообразие, 186

URSS

индуцированная структура, 140
инерциальная система отсчета, 113
интенциональность, 74
интуиционистская логика, 106
истина, 90
истинное представление структуры, 144

К

калибровочная симметрия, 184
калибровочная теория гравитации, 169
калибровочная теория Янга—Миллса, 164
калибровочное поле, 164
калибровочное преобразование, 184
каноническое квантование, 114
категория, 210
категория праспиноров, 212
категория, определяемая абстрактной категорией, 211
квалиа, 74
квантовая деформация, 210
квантовая логика, 106
квантор всеобщности, 107
квантор существования, 108
класс, 101
класс всех кардинальных чисел, 102
класс всех множеств, 101
класс всех одноточечных множеств, 101
класс эквивалентности, 131
классическая логика, 108
ковариантная гамильтонова теория поля, 178
когнитивистика, 69
когнитивно-чувственное восприятие, 61
когнитивно-чувственный образ, 61
кодирование, 60
коллатераль, 34
комбинация отношений, 134
комиссуры, 38
композиционное расслоение, 175
композиция, 132
композиция структур, 140
конвенциональная реальность, 79
конвенциональное знание, 92
конечно аксиоматизируемая теория, 107
конечный мозг, 35
конкретность человеческого сознания, 66
константа (логика), 108
конституент структуры, 139
конструкция ГНС, 114
контент отношения, 131
контент структуры, 9
контент структуры (математика), 136
конформная группа, 162
конъюнкция, 107
координаты действие-угол, 186
кора полушарий, 36
корреляционная память, 45
корреляционная схема сенсорного символа, 50
корреляция, 132
корреляция нервных возбуждений, 33
корреляция ощущений, 45
корреляция структур, 140
кратковременная память, 43
кроманьонец, 49

Л

лагранжев закон сохранения, 174
лагранжев формализм, 181
лагранжиан, 173
лимбическая система, 36
линейная логика, 106
логика, 102
логика (система), 107
логика n-го порядка, 108
логика первого порядка, 108
логика суждений, 108
логическая операция, 107
логическая система, 107
логическое мышление, 64

М

максимальный элемент, 132
малая категория, 211
малый мозг, 35
математика, 95
математическая логика, 103
материализм, 71
материальная система, 70
материя, 73
метасимвол, 107
метод нелинейных реализаций, 163
миелиновая оболочка, 39
миндалевидное ядро, 38
минимальная группа Кокстера, 167

URSS

минимальная категория праспиноров, 212
минимальный элемент, 132
мнение, 90
многовариантный режим ответа, 41
многозначная логика, 106
многозначное отображение, 133
многообразие струй, 173
модель (логика), 109
модель праспиноров, 210
мозг, 34
мозжечок, 35
мозолистое тело, 36
мономорфизм структур, 143
монополь, 166
мораль, 155
морфизм в категории, 210
морфизм отношения, 135
морфизм структур, 143
мотивационные центры, 42
моторная зона, 38
моторный нейрон, 34
мутация, 31
мышление, 62
мышление суждениями, 63

Н

наука, 85
научное знание, 85
неандерталец, 48
неживая природа, 73
независимые праспиноры, 212
независимые структуры, 142
нейрогормоны, 36
нейрон, 34
нейроэндокринная система, 36
неклассическая логика, 106
некоммутативная геометрия, 125
некоммутативная логика, 106
нелинейная теория поля, 167
непротиворечивая система, 108
непротиворечивость, 93
неразрешимое суждение, 89
нерв, 34
нервная деятельность, 33
нервная клетка, 32
нервная реакция, 33
нервная система, 32
нервное возбуждение, 32
нервный сигнал, 33
нерефлекторный процесс, 41
несущее множество, 108
нётеровский ток, 174
неформальная логика, 103
не-Я, 78
нижние отделы головного мозга, 35
нисходящие пути, 35
новая кора, 37
носитель структуры, 9

О

область отношения, 131
обобщенные функции, 209
обонятельный мозг, 36
образ отношения, 135
образ соотнесения, 74
образ соотнесения множеств, 133
образ структуры, 140
образное мышление, 53
обратный морфизм структур, 144
обратный образ отношения, 135
обратный образ структуры, 141
общезначимая формула, 109
общековариантные преобразования, 177
общественная мысль, 66
общественное бытие, 73
общественное сознание, 65
общество, 73
объединение отношений, 134
объединение структур, 143
объект категории, 210
объект морфизма структур, 143
объект отношения, 131
объект соотнесения, 74
объект структуры, 137
объективная реальность, 73
объективное «не-Я», 78
ограничение структуры, 140
Оно, 158
онтология, 69
онтология сознания, 73
оператор голономии, 185
оператор Эйлера—Лагранжа, 181
оппозиционность, 74
оппозиционность «Я» — «не-Я», 79
оппозиционность сознания, 75
основной вопрос философии, 71
осознаваемая реальность, 83
осознаваемый образ реальности, 83
осознание, 83
отношение взаимодействия праспиноров, 212

URSS

отношение композиции, 132
отношение композиции со значением в V, 133
отношение линейного порядка, 132
отношение многозначной композиции, 133
отношение на множестве, 131
отношение отбора, 131
отношение отбора сенсорных символов, 51
отношение отображения, 132
отношение отображения множеств, 133
отношение порядка, 132
отношение произведения, 132
отношение со значением в Q, 133
отношение схожести, 131
отношение частичного порядка, 132
отношение частности структур, 139
отношение эквивалентности, 131
отображение абстрактных структур, 146
отображение множеств, 134
отрицание, 107
отчуждение, 56
отчуждение «Я» — «не-Я», 79
ощущение, 43

П

память, 43
парадокс Кантора, 99
парадокс лжеца, 94
парадокс Рассела, 100
первая вариационная формула, 181
первая теорема Нётер, 184
первичный фазовый переход, 213
переменная (логика), 108
пересечение отношений, 134
пересечение структур, 142
перехваты Ренье, 39
периферическая нервная система, 34
пирамидные нейроны, 37
подсознание, 79
познание, 83
полисимплектический гамильтонов формализм, 179
полная система, 108
полное речевое сообщение, 60
полушария, 35
поля Бродмана, 38
понятие, 55
правило modus ponens, 108
правило вывода, 107
правило обобщения, 109
праспинор, 212
предикат, 130
предикатный символ, 108
предложение (логика), 109
предмет познания, 83
предпонятие, 55
предприимчивость, 30
представитель отношения отбора, 131
представление, 56
представление на основе восприятия, 45
представление структуры, 144
предъявление, 79
предъявление понятия, 64
предъявленный сенсорный символом, 43
преодоление отчуждения «Я» — «не-Я», 79
прибавочная стоимость, 153
прикладная наука, 85
принцип Маха, 113
принцип эквивалентности, 169
природа, 73
природная рента, 153
продолговатый мозг, 35
проекция когнитивно-чувственного образа в сознание, 61
промежуточный мозг, 35
простое речевое сообщение, 60
пространственно-временная структура, 170
пространство распределений Шварца, 208
пространство Шварца, 209
противоречивая система, 107
псевдориманова метрика, 168
психика, 45
пустая структура, 137
пустое отношение, 131
пятая сила, 170

Р

разрешимая система, 107
разрозненное общественное сознание, 65
распознание, 42
расслоение, 164
расширение структуры, 140
реальность, 72
редукция структурной группы, 168

URSS

редуцированная структура, 168
режим ответа, 40
режим самодействия, 40
религия, 80
релятивная механика, 113
реляционная система, 136
реперное расслоение, 168
рефлекс, 40
рефлексия, 78
рефлекторная дуга, 40
рецептор, 34
речевое предложение, 60
речевое сообщение, 59
речь, 60

С

самоотнесение, 75
самосознание, 75
самосознание человека, 76
свобода, 29
свобода воли, 29
свобода, как осознанная необходимость, 30
свободная переменная, 109
свойство компактности, 109
связка, 107
связная структура, 143
связность на расслоении, 173
связный социум, 64
связь отношений, 133
сенсо-понятие, 52
сенсорная зона, 38
сенсорная информация, 33
сенсорный нейрон, 34
сенсорный символ, 42
серое вещество, 35
сигнал, 51
символ (логика), 107
символ переменной, 108
символическая логика, 103
симметрия структуры, 141
синапс, 39
синдром Корсакова, 44
система отношений, 133
система праспиноров, 212
скалярное поле, 115
слово, 60
слои коры мозга, 37
смысл сенсо-понятия, 52
собственность, 151
собственный класс, 101
собственный конституент, 139
совпадающие структуры, 144
согласованные структуры, 142
содержательная логика, 103
сознание, 73
солипсизм, 71
соотнесение, 73
соотнесение множеств, 133
соотнесение структур, 140
состояние квантовой алгебры, 209
социум, 64
спинной мозг, 35
спинорное поле, 178
спинорное расслоение, 178
спонтанная активность, 29
спонтанное нарушение симметрий, 168
справедливость, 154
средний мозг, 35
средняя кора, 37
старая кора, 37
ствол, 35
стволовая нервная система, 34
стоимость, 151
структура, 127
структура (математика), 136
структура алгебры, 139
структура группы, 138
структура левого регулярного представления, 145
структура левого регулярного представления группы, 141
структура на классе, 147
структура отбора, 137
структура отображения, 138
структура по заданному отношению, 137
структура по отношению частичного порядка, 138
структура произведения, 138
структура прообразов, 138
структура частичного порядка, 138
структура частностей, 140
структурализм (идеология), 128
структурализм (методология), 127
структурализм (философия), 127
структуральная наука, 127
структуральная экономика, 148
структурная группа, 168
субъект морфизма структур, 143
субъект соотнесения, 74
субъективное «не-Я», 78

URSS

субъективный идеализм, 71
суждение, 63
супергеометрия, 125
супергравитация, 170
суперинтегрируемая гамильтонова система, 187
суперметрика, 171
суперпотенциал, 184
сущее бытия, 70
существование бытия, 70
схема аксиом, 107
схема формул, 107
схожие объекты структуры, 131
схожие сенсорные символы, 51

Т

таламус, 36
тезис Дирака, 112
телеология, 29
тело нейрона, 34
теорема, 107
теорема Гёделя о полноте, 109
теорема Голдстоуна, 168
теорема Коши—Ковалевской, 105
теорема Лёвенгейма—Скулема, 109
теорема Лиувилля—Арнольда, 186
теорема Мищенко—Фоменко, 187
теорема Нехорошева, 187
теоремы Гёделя о неполноте, 110
теоретическая физика, 93
теоретический образ реальности, 84
теоретическое знание, 84
теоретическое понятие, 56
термин (логика), 108
технологическая наука, 85
тип структуры, 142
типичная корреляционная схема, 51
товар, 151
тождества Нётер, 182
тождественное представление структуры, 144
тождественный элемент, 211
ток симметрий, 174
ток энергии-импульса, 174
топологическая структура, 137
топологический заряд, 166
топологическое число, 166
трансмембранный потенциал, 39
трансцендентальная логика, 103
трубчатая нервная система, 34
труд, 151

У

узловая нервная система, 34
узнавание, 83
универсальная структура, 147
универсальная структура на множестве, 139
универсальное отношение, 134
универсум, 131
универсум всех множеств, 101
универсум структуры, 136
универсум фон Неймана, 101
уравнение Эйлера—Лагранжа, 181
условие ассоциативности, 138
условие дистрибутивности, 133

Ф

фактор-множество, 132
философия, 67
философия сознания, 73
формальная арифметика, 109
формальная логика, 103
формальная система, 107
формальная теория, 107
формула, 107
фундаментальная наука, 85
фундаментальная физика, 112
функтор, 211
функториальное поднятие, 177
функции Вайтмана, 209
функциональный символ, 108

Х

характеристика структуры, 136
хвостатое ядро, 38
хеморецепторы, 40
хиггсовский вакуум, 171
хиггсовское поле, 168
хронологическая корреляция, 133
хронологическая корреляция нервных возбуждений, 33

Ц

цена, 153
центр Брока, 48
центр Вернике, 59
центральная нервная система, 34

URSS

Ч

частность отношения, 134
частность понятия, 55
частность сенсо-понятия, 54
частность структуры, 139
человек, 48
человек Идалту, 49
человек прямоходящий, 48
человек умелый, 48
человеческая природная рента, 153
человеческий капитал, 153
человеческое сознание, 57
чечевицеобразное ядро, 38
чувственная абстракция, 52
чувственное восприятие, 43
чувственное значение сенсо-понятия, 52
чувственное представление, 45
чувственный образ, 45
чувственный представитель сенсо-понятия, 53
чувственный пример понятия, 62
чувственный стимул, 40
чувствительный нейрон, 34

Э

эволюционный фактор, 31
эволюция, 31
эквивалентность (логика), 108
эквивалентные отношения, 136
эквивалентные структуры, 141
экономическая система (как структура), 149
экономический обмен, 151
элемент структуры, 137
элементарная структура, 139
эндокринная система, 32
энергетизм, 149
энторинальная кора, 42
эпиморфизм структур, 143
эректус, 48
эффектор, 34
эфферентная информация, 35
эфферентные пути, 35

Я

Я, 78
язык, 60
язык формальной системы, 107
языковое мышление, 63

URSS

Понятие социального капитала в экономике

И. Г. Чаплыгина

Введение

Экономическая система это, по сути, система взаимодействия людей в их стремлении к достижению хозяйственных целей. Поэтому одной из важных характеристик экономики являются правила коммуникации, которым следуют люди для координации своих интересов и планов. Чем больше масштабы взаимодействия, шире рыночные связи, тем большее значение имеет эффективность коммуникаций, то есть тем значительней размер издержек или выгод от их использования.

Можно выделить как минимум две составляющие «проблемы координации» частных интересов. Первую подробно исследовал австрийский экономист Ф. Хайек и она касается информации: для принятия адекватного хозяйственного решения индивид должен знать интересы потребителей, производственные возможности собственных поставщиков, готовность рынка жертвовать настоящим потреблением ради будущего и многое другое, что определяет экономическую конъюнктуру. В малых группах это знание еще может быть выявлено непосредственно. Но в «расширенном порядке», с точки зрения Хайека, единственным механизмом, обеспечивающим передачу необходимой хозяйственной информации, является рынок, его система свободно устанавливаемых рыночных цен.

Второй аспект «проблемы координации» касается доверия. Поскольку хозяйственные сделки по сути своей представляют договоренность о выполнении каких-либо обязательств в будущем, большое значение имеют гарантии соблюдения таких договоренностей. Чем выше риски срыва соглашения, тем дешевле и мельче контракты, то есть тем меньше суммы договоров (масштаб сделок) и тем короче период времени, на который партнеры готовы заглянуть в будущее. Если же гарантии выполнения контрактов надежны, то и сделки приобретают более сложный, масштабный и долгосрочный характер.

Определенные гарантии дает законодательство. Но если хозяйственные связи выходят за рамки одной страны, национальная система права мало что решает. Отчасти эту проблему призвано уменьшить развитие

URSS

международных норм ведения бизнеса. Но оно не устраняет более фундаментальной проблемы, которая заключается в том, что любая система права способна учесть лишь стандартные ситуации. Все многообразие хозяйственных отношений она не может формализовать. Тем более, что система бизнеса по своей сути и по своим целям является динамической. Создание новых форм организации хозяйства, новых типов контрактов и сотрудничества является ключевым для успешности предприятия и борьбы с конкурентами. Точно так же невозможно в законодательной форме предусмотреть все формы оппортунистического поведения.

Поэтому важное значение приобретают неформальные правила взаимодействия экономических агентов, правила, которые принимаются добровольно, по взаимной договоренности (носят «горизонтальный» характер) и которые создают климат доверия, не зависящий от внешнего контроля. Эти правила в целом предполагают добровольный отказ следовать собственному интересу вопреки установленным договоренностям и нормам ведения дел. Они обеспечивают определенную степень предсказуемости поведения, снижают неопределенность и риски, в первую очередь риски оппортунистического поведения.

Анализ такого рода неформальных правил, повышающих доверие между представителями отдельных групп и тем самым упрощающих их взаимодействие, представлен в работах, посвященных так называемому «социальному капиталу». В современной литературе существуют различные понятия «социального капитала». Мы будем использовать два. Под «социальным капиталом» в широком смысле будут подразумеваться общепринятые правила поведения, которые упрощают коммуникацию между людьми. Важным является то, что эти правила принимаются добровольно, то есть их выполнение не связано с наличием вертикальных институтов принуждения. Они передаются из поколения в поколение вместе с культурой, то есть через систему воспитания и социального опыта. Их исполнение гарантируется «горизонтальными» формами осуждения — порицанием, социальной изоляцией, — в том числе интериоризированными, –самопорицанием, угрызениями совести и т. д. Под «социальным капиталом» в узком смысле будут пониматься добровольно принимаемые людьми правила поведения, которые гарантируют выполнение договоренностей, касающихся будущих действий.

Из истории формирования термина

Понятие «социальный капитал» в экономической литературе возникло в первую очередь в исследованиях, посвященных анализу причин неравномерности экономического роста в разных регионах. Отчасти эти исследования были спровоцированы проблемой слаборазвитых стран, которая

возникла после распада колониальной системы, в частности, неудачными попытками интенсифицировать экономики бывших колоний[1]. Механизмы и институты, успешно действовавшие в развитых странах, не давали нужного эффекта в странах, которые принято называть отсталыми[2].

Первые исследования привели к выводу о том, что ключом к проблеме является «человеческий капитал», а именно разный уровень развития. Поэтому такой популярностью стала пользоваться политика, направленная на развитие образования и профессиональной подготовки как важного средства стимулирования экономического роста. Но такая политика не дала ожидаемого эффекта. Параллельно, все больший интерес вызывали исследования, посвященные различиям институциональной среды и возможным экономическим эффектам этих различий. Безусловно, речь идет в первую очередь о работах нео-институционалистов (Д. Норт, Дж. Уоллис, Б. Вайнгаст, А. Грейф) и экономистов-историков (Э. Л. Джонс, Дж. Мокир). Но есть и исследования экономистов мэйнстрима, например Э. Прескота. Все большую популярность стала приобретать идея о том, что интенсификация экономики невозможна без формирования эффективной институциональной структуры.

В то же время институциональная среда, то есть набор принятых практик взаимодействия между людьми для решения хозяйственных задач, имеет свою «подлежащую структуру» — систему принятых в обществе ценностей. Для того, чтобы правила, устанавливаемые институтами, соблюдались людьми, эти правила должны находить отклик в той системе ценностей и убеждений, которой придерживаются эти люди. Если возникает расхождение между институтами и ценностями, первые перестают функционировать или мутируют.

На современном этапе впервые проблема ценностей и их важности для функционирования институтов была поднята в рамках политологии. Во II половине XX века появляется целая серия исследований, стремившихся ответить на вопрос, почему одни и те же политические институты по-разному работают в разных странах[3]. Вывод, который был сделан — институты функционируют должным образом только в соответствующей

---

[1] *Acemoglu D.*, *Johnson S.* and *Robinson J. A.* The Colonial Origins of Comparative Development. An Empirical Investigation // *American Economic Review,* 2001, 91: 1369–1401.

[2] Эти проблемы получили свое отражение и в экономической литературе. Отсутствие достаточных экономических ресурсов не объясняло, почему при накачке стран капиталами, не возникает ожидаемый эффект в виде роста экономики. Не однажды в западной литературе того времени встречается идея о том, что проблема на самом деле институциональная. В частности, это спровоцировало Х. Лейбенстайна на формулирование новой теории поведения (х-рациональности). Появляется целая серия работ, моделирующих поведение традиционных хозяйств (Peasant Economics) и т. д.

[3] *Баталов Э.* Политическая культура России сквозь призму civic culture // *Proet Contra*, Том 7, № 3, лето 2002, с. 8.

URSS

культурной среде, которая в свою очередь зависит от определенных характеристик действующих субъектов. В литературе было введено понятие «политическая культура», под которой подразумевалась «система принятого в обществе отношения к политическим институтам и собственной роли в политической системе», или «совокупность установок, убеждений, чувств, которые задают порядок и придают значение политическому процессу» (Алмонд и Верба)[4]. Таким образом, «политическая культура есть… проявление в агрегированной форме психологических и субъективных измерений политики»[5]. При этом предполагалось, что политическая культура может не совпадать с политической системой, более того она может противостоять ей, что и приводит к нарушениям в функционировании политических институтов, а также к их мутациям.

По аналогии можно говорить о том, что адекватное функционирование экономических институтов возможно только в случае, если они действуют в адекватной культурной среде, то есть при наличии соответствующей «экономической культуры». Под экономической культурой мы имеем в виду совокупность значимых для хозяйственной деятельности ценностей, которые являются общепринятыми и устойчивыми, то есть воспроизводимыми в обществе. Этот вывод точно так же, как и в случае с политической культурой напрашивается из наблюдений за тем, насколько сильно экономические институты одних стран мутируют, будучи перенесенными на инородную почву других стран. Соответственно речь может идти о «психологических и субъективных измерениях» экономики, проявляющихся в агрегированной форме, о совокупности установок, убеждений и чувств, которые определяют экономическое поведение и оказывают непосредственное влияние на динамику хозяйственной жизни, в том числе темпы роста. На современном этапе существует целый блок исследований, посвященный анализу ценностей, принятых в обществах, и их экономическому эффекту. Здесь мы и сталкиваемся с понятием «социальный капитал».

Институты и ценности

Прежде чем перейти к анализу понятия «социальный капитал», необходимо в первую очередь разграничить понятие ценности и институты. И те, и другие выполняют близкую функцию — они определяют правила и нормы поведения индивидов. Тем не менее, ценности — это нормы, уко-

[4] *Almond G*., *Verba S*. The Civic Culture: Political Attitudes and Democracy in Five Nations, Princeton, 1963, p. 15.

[5] *Pye L*. Political Culture // *International Encyclopedia of Social science,* N. Y., 1961, vol. 12, p. 218. Цит. по: Баталов Э., с. 9.

реченные в сознании людей, сливающиеся с их представлениями о собственном я, не всегда четко осознаваемые и понимаемые. Институты носят внешний по отношению к человеку характер. Они обладают внешней формой, а потому различимы и более определенны. Мы будем считать, что институты это организованные структуры, которые имеют объективированные формальные правила (законы, уставы, контракты, принятые правила поведения и т. д.). Ценности же будут рассматриваться как субъективные нормы в том смысле, что они не предполагают противостояния субъекта и объекта, поскольку воспринимаются как часть субъекта, часть личностного Я. Интернализированный характер ценностей, не означает, что речь идет только о субъективных предпочтениях индивида. Эти предпочтения могут быть воспитаны в процессе его образования и социализации, то есть восприняты им извне. Но они становятся ценностями именно в силу их принятия личностью, добровольного включения им в свою иерархию предпочтений. Соответственно, индивид не подчиняется этим правилам, а следует им. И это следование не требует механизмов внешнего принуждения.

Институты имеют строго прописанную систему санкций, направленную на принуждение к выполнению норм. Системы ценностей, если они распространены в обществе, также формируют набор санкций, свои механизмы принуждения, но они не являются четко выраженными и строго прописанными. Например, за мошенничество институты наказывают тюремным заключением (физической изоляцией), а системы ценностей — психологической или социальной изоляцией (хотя в последнем случае это сближает их с институтами). Подчинение правилам, которые устанавливают институты, не требует той степени интернализации этих правил, как подчинение системам ценностей. Поскольку в первом случае есть процедура принуждения и строгая логика устанавливаемых правил, институты могут функционировать на основе механического подчинения установленным нормам. Системы ценностей, их функционирование, в большей степени зависит от укорененности этих ценностей в индивидуальном сознании членов сообщества в силу отсутствия строго организованных процедур подчинения и строго прописанных правил.

Разумеется, эффективность институтов зависит от того, насколько те нормы, которые они транслируют в общество, соотносятся с субъективными нормами членов сообщества, если мы говорим об экономике, то насколько экономические институты соответствуют экономической культуре общества. По всей видимости, здесь и пролегает основной водораздел между ценностями, формируемыми институтами, и внутренними ценностями индивидов. Если оба вида ценностных норм совпадают, то можно говорить об адекватности институциональной среды ценностным предпочтениям общества. Если они не совпадают, возникает проблема мутации институтов, их перерождения, подстраивания под реальные ценностные

предпочтения общества. Таким образом, ценности выступают своего рода «подлежащей структурой» институтов. Именно они определяют реальный характер и содержание тех процессов, которые институты призваны регламентировать. Последние придают им лишь форму. И если возникает несоответствие, эта форма наполняется нужным содержанием. В результате, внешне похожие институты, в разных культурах могут представлять собой совершенно разные феномены. С этим связана проблема миграции институтов из одной культурной среды в другую. Чужие институты могут не прижиться вовсе, они могут превратиться в «потемкинские деревни», но могут стать полноценными функциональными механизмами, при этом выполнять совершенно новые для себя функции.

Экономические эффекты «систем ценностей»

Итак, «социальный капитал» представляется как своего рода «подлежащая структура» экономики, то есть. часть экономической культуры, которая определяет степень эффективности хозяйственного взаимодействия экономических агентов данного общества. Речь идет о принимаемых индивидами, на добровольной основе, нормах поведения, которые обеспечивают гарантии соблюдения договоренности, то есть определенный климат доверия не зависимо от наличия внешних форм принуждения к выполнению обещаний.

В экономической литературе, по видимому, одним из первых примеров анализа экономических эффектов уровня доверия в обществе является работа Генри Торнтона 1802 года «Исследование природы и действия бумажного кредита Великобритании»[6], в которой доверие рассматривается как важный фактор функционирования кредитной системы. Торнтон считал, что успех развития английской системы вексельного обращения во многом зависел от климата доверия, который был сформирован, в том числе благодаря особым функциям Банка Англии. Сам кредит рассматривался им именно как следствие веры в надежность финансовой системы. Если уровень доверия был высок, то кредит был легок, что вело к расширению денежной массы. Если доверие нарушалось, то денежная масса схлопывалась со всеми вытекающими отсюда последствиями. Таким образом, доверие рассматривалось им как функциональный элемент экономики.

Но если у Торнтона доверие означает гарантии стабильности финансовой системы и гарантии от злоупотреблений правительством своими полномочиями в этой области, то в более близком нашему пониманию смысле фактор доверия подробно анализируется впервые у Дж. Коммонса

[6] *Ананьин О. И.* Незнакомый классик политической экономии: к 200 летию выхода в свет «Бумажного кредита» Генри Торнтона // Истоки. М.: ГУ ВШЭ, 2004.

в его «Правовых основах капитализма». В этой книге Коммонс, во-первых, подчеркивает кредитный характер современной ему экономической системы, заключающийся в том, что все сделки в основном касаются будущих операций. Он так и назвал этот новый этап развития хозяйства «кредитной экономикой». И в этой связи Коммонс подчеркивает значимость проблемы доверия как гарантий выполнения подобного рода контрактов для формирования эффективного экономического климата. Коммонс пишет, что главным двигателем экономики является предпринимательская инициатива. Ее носителем является индивид, который как отдельная единица крайне уязвим. Его способности проявить себя блокируются различного рода страхами. В разные исторические периоды этот страх имеет разную природу. Изначально это был страх насилия, затем страх голода. В «кредитной экономике» на первое место выходит страх несоблюдения договоренностей. Именно он мешает раскрепощению частной инициативы и тормозит экономическое развитие. Дж. Коммонс предлагает правовое решение этой проблемы. Он рассматривает систему права, в первую очередь прав частной собственности, личностных прав, прав, обеспечивающих свободу предпринимательства, как своего рода защиту частных лиц от возможных посягательств на их интересы, как гарантию определенной предсказуемости и стабильности правил игры. Аналогичную роль Коммонс отводит развитию системы договоров, которые также призваны снизить риски нарушения соглашений и предусмотреть все возможные механизмы урегулирования будущих конфликтов. Все это, по мнению Коммонса, играет крайне важную роль для развития экономики, поскольку формирует климат «доверия к ожидаемым действиям»[7].

С сер. XX века в историко-экономической литературе начинают встречаться идеи о том, что развитие «горизонтальных» гарантий исполнения контрактов сыграло важную роль в развитии экономик европейских стран, в частности, способствовало преодолению традиционного местного характера производства и торговли, расширению рынков. Впервые эта идея встретилась нам в работе Дж. Хикса «Теория экономической истории»[8]. Анализируя превращение «традиционного общества» в «торговую экономику», Дж. Хикс отмечает, что с увеличением масштабов торговых

[7] *Коммонс Дж.* Правовые основы капитализма, с. 360.

[8] Хотя определенные элементы можно найти и у Дж. Коммонса, который также связывает развитие правовой системы урегулирования отношений с расширением экономических связей. Дж. Коммонс пишет, что новые правила начали формироваться с расширением хозяйственных связей, с формированием бизнеса как производства, ориентированного во вне, а потому зависимого от широкого круга мало знакомых людей. При таком типе хозяйствования вместе со свободой существенно возрастает незащищенность предпринимателя, которая и потребовала «новой и широкой поддержки со стороны коллективной власти» и влекла «новые и расширенные взаимные обязательства общества» [«Правовые основы капитализма», 352].

операций значительно возрастают экономические риски, как в связи с ростом размеров возможных потерь, так и в связи с необходимостью действовать в чужой стране, «среди чужих»[9]. Дж. Хикс подчеркивает, что для любой хозяйственной деятельности крайне важной является защита собственности и контрактов. В новых условиях расширенных связей традиционное общество, основанное на вертикальных системах контроля над соблюдением правил, не способно обеспечить гарантий хозяйственной деятельности. В этой ситуации купцы начинают самостоятельно формировать новые правила — корпоративные принципы поведения. Они основаны на добровольном, не принудительном согласии признавать чужие права и выполнять даваемые обязательства. Именно эта добровольность и взаимность признаваемых прав и обязанностей только и может в новых условиях обеспечить безопасность сделок и предприятий, считает Дж. Хикс.

Аналогичные идеи развиваются в работах историков-компаративистов и неоинституционалистов. Наиболее интересна здесь работа Авнера Грейфа «Институты и путь к современной экономике»[10]. Во-первых, Грейф большое значение придает убеждениям людей, считая, что если они не соответствуют существующим нормам и правилам, то последние не будут работать. Во-вторых, он подробно описывает, как в позднем Средневековье при расширении хозяйственных связей и необходимости вести дела с лицами, не подчиняющимися прямо юрисдикции национального суда, возникал вопрос о гарантиях выполнения контрактов. На примере Магрибских купцов Грейф анализирует один из первых опытов решения этой проблемы — создание институциональной среды, которая принуждала к добросовестному выполнению контрактов и при этом не опиралась на государственные системы принуждения. Созданное сообщество купцов выработало определенный кодекс поведения, своего рода купеческое право, которое было обязательным к исполнению для каждого, кто хотел оставаться членом сообщества и пользоваться всеми преимуществами этого членства. Информация о фактах нарушения кодекса распространялась очень быстро, что приводило к исключению нарушителя и его бойкотированию всеми остальными купцами.

Грейф полагает, что подобного рода структура, опирающаяся на принцип коллективной ответственности, представляла собой эффективный механизм гарантирования контрактов. Она позволила снизить риск неисполнения контрактов в условиях, когда экономические интересы требовали заключения договоров с малознакомыми или вовсе не знакомыми людьми. Заменив личное доверие корпоративной этикой, она позволила перейти к «обезличенному общению» и при этом удержать риск на прием-

[9] *Хикс Дж*. Теория экономической истории, с. 56–64.

[10] *Грейф А. Институты и путь к современной экономике: уроки средневековой торговли.* М.: НИУ ВШЭ, 2011.

лемом уровне. Принятый купеческий кодекс позволял с одинаковой уверенностью заключать договора как с хорошо знакомыми, так и с совершенно не известными лично партнерами.

Грейф пишет о том, что подобные практики сыграли не последнюю роль в расширении торговых связей Средневековой Европы, способствовали интеграции рынков. Э. Хелпман, упоминая работу Грейфа в своей книге «Загадка экономического роста», согласен с его выводами и пишет, что «расширение обезличенного обмена на большие территории было ключом к торговой революции позднего Средневековья, революции, которая произошла в XI-XIV вв. Формирование институтов безличного обмена было важной частью этой революции, случившейся в то время, когда правовые системы были слабо развиты, а власть судов ограничена местными общинами. Более того, там, где суды существовали, они не были беспристрастными»[11].

Важное значение формированию «обезличенных связей» придается и в работе Д. Норта, Дж. Уоллиса, Б. Вайнгаста «Насилие и экономический порядок». В ней утверждается, что те страны, которым удалось осуществить переход от «естественного государства», основанного на отношениях по принципу «патрон-клиент»[12], к «порядку открытого доступа», получили значительные преимущества в плане экономического развития. Авторы книги пишут о том, что эти новые общества опирались на принципиально новый тип идентификации людей — принцип «обезличенной идентичности»[13]. Благодаря тому, что в этих сообществах были приняты универсальные ценности личности, не зависимо от того, к какому роду, нации или правителю принадлежит эта личность, в них возникла универсальная система права и ответственности, которая обеспечивала гарантии выполнения контрактов вне зависимости от политических границ и национальных правовых систем. Любое лицо, которое оказывалось включенным в эту систему идентификации, наделялось правом и в то же время соответствующими обязательствами. Распространение нового типа общества имело, по мнению авторов, ярко выраженный положительный экономический эффект. По мнению авторов «порядки открытого доступа» обладают более высокими адаптивными способностями, что, с точки зрения Д. Норта, говорит в пользу высокой экономической эффективности таких институтов, а также их способности благоприятствовать экономическому росту[14].

---

[11] *Хелпманн Э. Загадка экономического роста.* М.: Изд-во Института Гайдара, 2012, с. 181–183.

[12] *Норт Д., Уоллис Дж., Вайнгаст Б.* Насилие и социальные порядки. Концептуальные рамки для интерпретации письменной истории человечества, М.: Изд. Института Гайдара, 2011, с. 92.

[13] Там же, с. 433.

[14] Там же, с. 418–419.

Особенности системы «обезличенного доверия»

Итак, анализируемая система коммуникации, основанная на горизонтальных системах «обезличенного доверия», носит выражено искусственный характер в том смысле, что в ее основе лежат не естественные свойства человеческой природы, А наработанные в ходе эволюции системы ценностей. Она противопоставляется «естественным системам» общественной коммуникации, основанным на насилии. Она рассматривается как результат рационального выбора людей, достигших определенных масштабов коммуникации.

В то же время, с эволюционной точки зрения такая система должна, тем не менее, быть рассмотрена как естественная, поскольку это результат эволюции. Но многие институционалисты настаивают на том, что она до сих пор сохраняет признаки искусственной системы постольку, поскольку является неустойчивой и не демонстрирует способностей к распространению. Во-первых, существуют значительные силы, кроящиеся в естественных свойствах человеческой природы, которые противоречат этой системе и потому постоянно стремятся ее разрушить. Во-вторых, если существует эволюционный закон имитации наиболее эффективных практик, то здесь он не срабатывает, так как эти системы не демонстрируют способностей к экспансии. Они не прививаются. Они возникли в определенной культурно-исторической среде и там они достаточно устойчивы. В другой культурно-исторической среде они оказываются нежизнеспособными.

Проблема неустойчивости систем «обезличенного доверия» может быть проиллюстрирована следующим образом. Склонность доверять может быть устойчивой, если является результатом рационального выбора индивида между двумя альтернативами — «доверять — не доверять». Этот выбор основан на расчете выгоды той или иной стратегии поведения. Выгодность «доверительного» отношения возможна только в случае, если вся система обладает некими свойствам, которые назовем для простоты словом «доверие»[15]. Человеку выгодно вести себя, исходя из системы доверия, только если опыт подтверждает, что это доверие существует и распространено на все общество. Таким образом, общество может обладать системой «обезличенного доверия» тогда и только тогда, когда каждый элемент этой системы является системообразующим.

Неустойчивость такой системы возникает по ряду причин:

1. Единичный опыт нарушения доверия приводит к выводу о системе в целом, нарушает свойства этой системы, а следовательно приводит к моментальной смене стратегии соседствующих элементов системы. Единичные случаи, доказывающие наличие доверия, не играют такой решаю-

[15] Аналогичные рассуждения относительно «честного поведения» встречаются у Дж. Бьюкенена в его статье «Этические правила, ожидаемые оценки и большие группы».

щей роли для смены стратегии на позитивную, так как единичный пример наличия свойства еще не является доказательством того, что вся система обладает этим свойством.

1 этап:

+	+	+	+
+	+	+	+
+	+	–	+
+	+	+	+

2 этап:

+	+	+	+
+	–	–	–
+	–	–	–
+	–	–	–

3 этап:

–	–	–	–
–	–	–	–
–	–	–	–
–	–	–	–

Обратный эффект не действует. Если в последней таблице возникает +, то ничего не меняется, а скорее он тут же исчезает.

1 этап:

–	–	–	–
–	–	+	–
–	–	–	–
–	–	–	–

2 этап:

–	–	–	–
–	–	–	–
–	–	–	–
–	–	–	–

2. Выгоды от коллективной стратегии на основе доверия (носят коллективный характер) менее ощутимы и хуже осознаются, нежели издержки от злоупотребления доверием (носят индивидуальный характер).

3. Индивидуальные выгоды от нарушения доверия очень высокие, а издержки менее очевидны — отсюда постоянный соблазн разрушить в одностороннем порядке общую систему доверия. Риск оппортунистического поведения очень высок.

URSS

Эта неустойчивость доказывает жизненную важность «подлежащей структуры» — экономической культуры, устоявшейся системы ценностей, которая предотвращает действие всех трех факторов, нарушающих равновесие.

Проблема включения в экономический дискурс

Для того, чтобы институциональные или культурные факторы могли учитываться в экономических теориях, они должны быть представлены в виде капитала. По крайней мере, так принято считать в современной литературе. В настоящий момент активно развивается понятие «социальный капитал», которое в принципе призвано включить в экономический анализ институциональные факторы экономического развития. Этот термин имеет различную интерпретацию в зависимости от автора. Ряд авторов выдвигают альтернативный ему, более узкий термин «гражданский капитал».

Термин «социальный капитал» восходит к классификации капитала, предложенной французским постструктуралистом Пьером Бурдье в его работе 1972 году. Он рассматривал «социальный капитал» как «совокупность реальных или потенциальных ресурсов, связанных с обладанием устойчивой сетью более или менее институционализированных отношений взаимного знакомства и признания — иными словами, с членством в группе». Фактически речь идет о том, что «членство в группе» и любые другие приобретенные человеком социальные связи, которые обеспечивают ему особый характер отношений с другими участниками этой группы, являются особым видом капитала, от обладания которым человек ожидает получить определенную выгоду. При этом наблюдается сознательное инвестирование в развитие социальных связей, а также факты продажи социального капитала, например, когда компания назначает какое-либо лицо на высокую доходную должность в надежде с выгодой для себя использовать его личные контакты. Эти особые контакты, согласно теории П. Бурдье, «предполагают длительные обязательства, ощущаемые на субъективном уровне (например, чувства благодарности, уважения, дружбы и т. д.) или гарантированные институционально (права)».

Таким образом, понятие «социального капитала» у П. Бурдье в первую очередь предполагает связи в рамках закрытых групп, которые внутри себя формируют особый климат доверия и взаимных обязательств, не распространяющийся на нечленов группы (в этом сам Бурдье видит негативный эффект распространения «социального капитала», поскольку он приводит к росту дискриминации на границах групп). Аналогичные выводы можно найти у Олсэна с его понятием «институциональный склероз», который возникает в связи с тем, что при образовании институтов трансак-

ционные издержки внутри группы снижаются, но могут значительно возрастать на границах между группами.

При этом важно отметить, что в сравнении с другими интерпретациями, «социальный капитал» у Бурдье носит ярко выраженный частный характер. Во-первых, выгоды, получаемые от использования этого капитала, присваиваются в частном порядке. Во-вторых, процесс инвестирования в этот капитал также носит частный характер.

Близкое определение «социальному капиталу» дается в теории Дж. Коулмана[16], в которой социальный капитал рассматривается как набор социальных связей, которые формируют горизонтальные моральные санкции, ограничивающие поведение индивидов определенными рамками и, одновременно, повышающие уровень доверия в группе. Отдельное лицо получает частную выгоду от накопления «социального капитала». В этой связи «социальный капитал» рассматривается Коулманом как индивидуальный ресурс. В то же время, Коулман подчеркивает, что процесс инвестирования в социальный капитал сопровождается значительными внешними эффектами.

В этой связи принципиально иную интерпретацию понятию «социальный капитал» дает Р. Патнэм. Он включает в это понятие «элементы социальной жизни — связи, нормы и доверительные отношения, — которые позволяют участникам группы предпринимать более эффективно совместные действия для достижения разделяемых целей»[17]. Принципиальным отличием от концепции «социального капитала» П. Бурдье является, во-первых, общественный характер целей, достижение которых упрощается благодаря «социальному капиталу». Во-вторых, социальный характер инвестиций в этот капитал. В целом, «социальный капитал» предстает здесь как «коллективный ресурс». В-третьих, речь идет о связях в открытых, а не закрытых группах, что исключает возможный в последнем случае негативный эффект подобного рода групп, связанный с дискриминацией не-членов группы. Согласно Р. Патнэму социальный капитал укрепляет принцип взаимности в межличностных отношениях и способствуют развитию коллективных действий в обществе. Он снижает различные риски, в том числе экономические, тем самым способствуя лучшей координации людей в обществе, более эффективному их взаимодействию. Считается, что концепция Патнэма близка теории Фукуямы, а также напоминает понятие гражданской добродетели Макиавелли.

В работе итальянских авторов Л. Гвизо, П. Сапиенца и Л. Зингалеса выдвигается более узкое понятие «гражданского капитала», в которое включаются «те постоянные и общепринятые убеждения и ценности, которые помо-

[16] *Coleman*, 1990.

[17] *Putnam*, 1995a. Цит. по: *Guiso L.*, *Sapienza P.*, *Zingales L.* Civic capital as the missing [illegible] // NBER working paper series, working paper 15845, march 2010, p. 2.

гают группе решить проблему безбилетника в рамках социально значимой деятельности»[18]. Как утверждают сами автор, их термин близок понятию «социальной инфраструктуры», которое было введено Холлом и Джоунсом[19] для объяснения высокого уровня производительности труда в развитых экономиках, а также концепции «гражданской культуры», предложенной Алмондом и Вербой, которые включают в это понятие «набор убеждений, норм, мнений и т. п., которые способствуют сотрудничеству»[20].

Они также используют более широкое понятие гражданского капитала, в которое включают «общепринятые убеждения и ценности, которые этнические, религиозные и социальные группы передают из поколения в поколение и которые позволяют участникам группы более эффективно взаимодействовать друг с другом ради достижения общих целей»[21].

Все приведенные определения «социального капитала» могут иметь право называться капиталом в экономическом смысле этого слова, если те факторы, которые подразумеваются под этим термином, действительно обладают свойством капитала. В частности, Р. Солоу выдвинул целый ряд критериев, которым должны удовлетворять эти понятия, чтобы превратиться в реальный экономический показатель:

- те факторы, о которых идет речь, должны представляться как запасы, части которых могу быть сопоставимы как большие или меньшие;
- должен иметь место наблюдаемый процесс инвестиций в запасы, который должен представлять собой вложения в настоящем для создания некоего блага, от которого ожидается прирост благ или дохода в будущем; также должен наблюдаться износ;
- объем «социального капитала» должен быть хоть как-то измерим;
- наблюдаемые изменения в размерах этого капитала должны корреспондировать с наблюдаемым процессом инвестирования и амортизации;
- само понятие «социального капитала» не должно сводиться к другим видам капитала, в частности к «человеческому капиталу»[22].

В работе Гуизо, Сапиенца, Зингалес дается оценка различных концепций социального капитала на их соответствие критерию Солоу. Авторы полагают, что интерпретация «социального капитала», предложенная Бурдье и Коулманом, вполне удовлетворяет критериям Солоу, за исключением

---

[18] *Guiso L.*, *Sapienza P.*, *Zingales L.* Civic capital as the missin // NBER working paper series, working paper 15845, march 2010, p. 3.

[19] *Hall* and *Jones*, 1999.

[20] *Guiso L.*, *Sapienza P.*, *Zingales L.* Civic capital as the missin // NBER working paper series, working paper 15845, march 2010, p. 7.

[21] *Guiso L.* Social Capital as Culture, Marshall Lecture, European Economic Association, Budapest, 2007.

[22] Приводится по: *Guiso L.*, *Sapienza P.*, *Zingales L.* Civic capital as the missin // NBER working paper series, working paper 15845, march 2010, p. 4.

одного. Поскольку речь идет об индивидуальном ресурсе, инвестиции в который осуществляются индивидом, он сливается с понятием «человеческий капитал». «Если мы не ограничиваем понятие человеческого капитала исключительно набором знаний, полученных в школе, но также включаем туда набор знакомств, связей, которые мы приобретаем в школе и вне школы — то есть, если мы расширяем это понятие, включая не только *то, что* мы знаем, но и *тех, кого* мы знаем, — тогда термин человеческий капитал может полностью учитывать понятие социальный капитал, за который выступает П. Бурдье»[23]. И если Коулман подчеркивает, что социальный капитал отличается тем, что процесс инвестирования в него сопровождается значительными внешними эффектами, то в действительности инвестиции в человеческий капитал, равно как и в другой капитал создают также значительные экстерналии.

Социальный капитал Патнэма, по мнению итальянских авторов, совершенно не удовлетворяет критериям Солоу, так как невозможно ни количественно сравнить различные запасы этого капитала, ни отследить процесс инвестирования в него.

Именно проблема критерия Солоу заставила Гуизо, Сапиенца и Зингалеса (GSZ) выдвинуть свою собственную концепцию «гражданского капитала». Сводя это понятие к ценностям кооперации, позволяющим эффективно действовать для достижения общих целей, авторы утверждают, что такой капитал легко измеряется с помощью имеющихся методов эмпирической оценки соответствующих ценностей в разных обществах. Инвестиции в капитал могут быть представлены как совокупность ресурсов, которые затрачивают родители, чтобы научить своих детей ценностям кооперации. Разрушение этих ценностей под воздействием внешних факторов может рассматриваться как износ. И последнее, такой капитал существенно отличается от человеческого капитала. Во-первых, потому что процесс инвестирования носит социальный характер — инвестируют родители и другие члены сообщества, но не сам индивид. Во-вторых, эти ценности будут представлять собой капитал, только если они разделяются другими членами сообщества. Он может быть легко инкорпорирован в стандартные экономические модели.

Заключение

Ценности и убеждения, которые разделяют представители того или иного сообщества, оказывают непосредственное влияние на характер коммуникаций, устанавливаемых в этом сообществе. Эти коммуникации могут

[23] *Guiso L.*, *Sapienza P.*, *Zingales L.* Civic capital as the missing [illegible] // NBER working paper series, working paper 15845, march 2010, p. 5.

быть эффективными — способствовать кооперации, снижать издержки, а могут быть неэффективными. Одной из важных ценностей является доверие окружающим, которая непосредственно влияет на степень риска невыполнения контрактов — одного из важных парализующих предпринимательскую деятельность факторов. Как пишут GSZ «доверие является ключевым составным элементом почти всех экономических трансакций»[24] и, как добавил бы Дж. Коммонс, особенно в «кредитной экономике».

Стандартные теории, объясняющие уровень экономического развития объемом наличных ресурсов и человеческого капитала, могут быть дополнены новым показателем — наличием социального капитала. Современные исследования показывают, что этот показатель может быть измерим и сравним количественно по разным странам. Он может быть включен в экономические теории, поскольку представляется как результат рационального выбора индивидов в пользу инвестирования в этот капитал.

В то же время, этот показатель отражает альтернативный взгляд на природу экономического роста. В рамках теорий социального капитала учитываются факторы, которые не могут быть рассмотрены в рамках «методологического индивидуализма». Ведущим элементом теорий социального капитала является способность к кооперации, которая, по мнению авторов, дает дополнительные преимущества всем участникам сообщества. Эта идея сближает концепции социального капитала с идеями институционалистов о том, что общий экономический эффект не является простой суммой частных экономических эффектов, что коллективные действия дают дополнительное приращение дохода[25].

Поскольку социальный капитал упрощает процесс коллективного участия в достижении общего блага, то в методологическом плане теории социального капитала опираются скорее на теорию игр, нежели на теорию рационального выбора. Это, в том числе, объясняет столь важное значение фактору доверия, которое придают эти теории. Как известно, еще со времен дилеммы заключенного, в теориях игр кооперативные стратегии во многом зависят от уровня доверия между участниками.

Литература

1. *Ананьин О. И.* Незнакомый классик политической экономии: к 200 летию выхода в свет «Бумажного кредита» Генри Торнтона // Истоки. М.: ГУ ВШЭ, 2004.
2. *Баталов Э.* Политическая культура России сквозь призму civic culture // *ProetContra*, Том 7, № 3, лето 2002.

[24] *Guiso, Sapienza, Zingales*, p. 10.

[25] Институциональные аналогии — «коллективные действия» Дж. Коммонса, «общественная производительность труда» К. Маркса.

3. *Бурдье П.* Формы капитала // Западная экономическая социология: хрестоматия современной классики. М.: РОСПЭН, 2004.
4. *Бьюкенен Дж. М.* Этические правила, ожидаемые оценки и большие группы // Истоки: социокультурная среда экономической деятельности и экономического познания, М.: Издательский дом ВШЭ, 2011, с. 90–111.
5. *Грейф А.*, Институты и путь к современной экономике, М.: НИУ ВШЭ, 2013.
6. *Коммонс Дж.* Правовые основы капитализма // Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков. В 5 т., Том III, М.: Мысль, 2005, с. 358–360.
7. *Коммонс Дж.* Правовые основы капитализма, М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2011.
8. *Норт Д.*, *Уоллис Дж.*, *Вайнгаст Б.* Насилие и социальные порядки. Концептуальные рамки для интерпретации письменной истории человечества, М.: Изд. Института Гайдара, 2011.
9. *Полищук Л.*, *Меняшев Р.* Экономическое значение социального капитала // Вопросы экономики, 2012, № 12, с. 46–65.
10. *Рикер П.* Герменевтика, Этика, Политика. М.: Academia, 1995.
11. *Хайек Ф.* Индивидуализм и экономический порядок, Гл. 5 «Смысл конкуренции», М.: Изограф, 2001.
12. *Хелпман Э.* Загадка экономического роста, М.: Изд-во Института Гайдара, 2012.
13. *Хикс Дж.* Теория экономической истории, М.: НП «Журнал Вопросы экономики, 2006.
14. *Acemoglu D.*, *Johnson S.* and *Robinson J. A.* The Colonial Origins of Comparative Development. AnEmpiricalInvestigation // *AmericanEconomicReview,* 2001, 91: 1369–1401.
15. *Almond G.*, *Verba S.*, The Civic Culture: Political Attitudes and Democracy in Five Nations, Princeton, 1963.
16. *Coleman J.*, Social Capital in the Creation fo Human Capital // American Journal of Sociology, 1998, vol. 94, suppl. P, p. 95–120.
17. *Guiso L.*, *Sapienza P.*, *Zingales L.* Civic capital as the missi[illegible] // NBER working paper series, working paper 15845, march 2010.
18. *Putnam R.* Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy, Princeton University Press, 1993.
19. *Solow R.* Trust: The Social Virtues and the Creation of Prosperity//The New Republic, 1995, v. 213.

URSS