

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ И ПРАВА**

А.Л. Симанов, А.Ю. Сторожук

**ИСТОРИКО-ФИЛОСОФСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ**

**Новосибирск
2014**

УДК 160.1
ББК 15.11
С 37

*Исследования, нашедшие отражение в монографии,
поддержаны Российским гуманитарным
научным фондом (проект № 13-23-01015)*

Утверждено к печати Ученым советом
Института философии и права СО РАН

Ответственный редактор
В.Н. Карпович

Симанов А.Л., Сторожук А.Ю.

С 37 Историко-философские проблемы представлений о пространстве. – Новосибирск: Изд-во Омега-Принт, 2014. – 250 стр.
ISBN

Проблема пространства – интересная и вечная проблема, которая никогда в полном объеме не сможет быть решена. В этой книге дается широкая панорама развития представлений о пространстве, начиная с мифологических. Но, как увидит читатель, все попытки дать окончательные ответы на вечные вопросы оказались безрезультатными. И сейчас происходит своеобразный синтез всех представлений о пространстве в рамках современной физики и философии.

Книга предназначена тем, кто интересуется проблемами исследования пространства.

УДК 160.1

© Симанов А.Л., Сторожук А.Ю., 2014
© ИФПР СО РАН, 2014

Без объявления
ISBN

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ГЛАВА I. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ	
§ 1. От мифологических к классическим представлениям	6
§ 2. Эфир и пространство	49
§ 3. Формирование неклассических представлений о пространстве в философии и физике	66
ГЛАВА II. ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ: ИСТОРИЯ И ФИЛОСОФИЯ	
§ 1. Специальная теория относительности: основные предпосылки и идеи	130
§ 2. Общая теория относительности: история и современные проблемы	147
§ 3. Дальнейшее развитие общей теории относительности	157
ГЛАВА III. СОВРЕМЕННАЯ МЕТАФИЗИКА, УНИФИКАЦИЯ И ПРОСТРАНСТВО	
§ 1. Стремление к унификации – катализатор современной метафизики	177
§ 2. Метафизика, методология, физика	215
ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ.	
Основания концепций множественных Вселенных: лоскутная мультивселенная и инфляционный сценарий	231
БИБЛИОГРАФИЯ	246

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представления о пространстве – одни из самых консервативных, инертных представлений в науке, но вместе с тем они наиболее отчетливо выражают противоречивый и непростой характер развития самой науки, наших знаний о мире. Множество фундаментальных научных представлений со времени зарождения научного знания неоднократно претерпевали кардинальные изменения, вызывая порой революции в науке. За этот же самый период понимание пространства в естествознании изменилось радикально всего один раз – с возникновением теории относительности (если не считать таким изменением переход от мифологических взглядов на пространство к первым научным представлениям о нем). Эволюция же философских взглядов на пространство кажется значительно богаче гипотезами, вариантами интерпретаций категории пространства, дискуссиями, ведущимися вокруг нее.

Такая ситуация определяется, на наш взгляд, прежде всего особой ролью пространства в структуре мира: это и арена, на которой разворачиваются все события мирового действия, и одновременно, как стало понятно только в последнее время, непосредственный участник этого действия, во многом определяющий его ход.

Кажущаяся очевидность истинности представлений о пространстве как вместилище всех вещей и событий длительное время затрудняла развитие учений о пространстве. Но со становлением современной науки и ее эмпирической базы, с эволюцией философских учений о пространстве проблем стало появляться больше, и появляются они быстрее, чем мы успеваем их решать. Сейчас с фундаментальными открытиями зачастую возникает необходимость пересмотреть казалось бы устоявшиеся взгляды на те или иные проблемы, связанные с интерпретацией пространства. Таким образом, наблюдается известное ускорение эволюции представлений о пространстве.

Современный этап развития представлений о пространстве дает некоторые основания утверждать, что он должен завершиться

созданием новых теорий, как конкретно-научных, так и философских, радикально переосмысляющих все существующие поныне взгляды. Это будет вторая революция в развитии учения о пространстве. То, что такая революция назревает, обусловлено, с одной стороны, поисками теории великого объединения (иными словами – унифицированной теории, описывающей единым формализмом мега-, макро- и микромир), а с другой – происходящим сейчас философским переосмыслением взглядов на пространство. Именно поэтому мы считаем весьма интересным проследить эволюцию представлений о пространстве, попытаться осмыслить эти процессы с современных позиций, поразмышлять о сложившейся ситуации в изучении пространства.

Мы отдаем себе отчет в том, что с современных позиций анализ представлений о пространстве без использования представлений о времени может выглядеть по меньшей мере архаичным. Единство пространства-времени – общепризнанный тезис в современной науке. Но многократно возрастающие при этом объем и сложность проблематики и известные различия между пространством и временем в какой-то мере оправдывают тот факт, что мы будем обращать внимание читателя прежде всего на пространственную проблематику, отвлекаться от времени там, где нет абсолютной жесткой связи между пространством и временем, и ограничимся в этой работе показом развития представлений о роли и месте пространства в структуре мира.

Нашу главную задачу мы видим не столько в том, чтобы рассказать об устоявшихся представлениях о пространстве, сколько в том, чтобы показать, как эти представления развивались и к каким проблемам они привели. Иными словами, хотим больше поставить вопросов, чем дать ответов. Тем самым мы надеемся заинтересовать читателя, увлечь его интереснейшей проблематикой современной науки, и если это удастся, то можно будет считать, что книга написана не зря.

Мы не даем ссылки на цитаты с надеждой, что заинтересованный читатель обратится к тому, к сожалению, минимальному списку литературы и к другим источникам и авторам, упомятым нами, что позволит ему (читателю) соориентироваться в предшественниках современных достижений космологии, в современных авторах и в современной проблематике космологии.

Глава I

ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ

§ 1. От мифологических к классическим представлениям

Историю развития представлений о пространстве излагают обычно, начиная с выделения двух различных концепций пространства. Согласно первой, пространство – это бесконечноеместилище вещей, арена движения тел. Такое представление о пространстве (его придерживались Демокрит, Эпикур, Лукреций) соответствовало взгляду атомистов на природу вещей. Все сущее рассматривалось ими как совокупность бесконечного числа неизменных по форме и величине частиц – атомов, образующих при сцеплении друг с другом все многообразие тел природы. «Полное» и «пустое» – два неразрывно связанных понятия: атомы (абсолютно «полное») могут существовать и двигаться только в абсолютно «пустом» пространстве-местилище.

Этой концепции пустого пространства противопоставляется концепция, выдвинутая Аристотелем. Он полагал, что случайные сочетания неизменных частиц не могут обусловить качественное своеобразие и целостность вещей, их специфические закономерности. Хотя материя и является субстратом вещей, но движущее, активное начало – это форма. Отрицание атомизма вело за собой и отрицание пустого пространства. Пустота существовать не может, ибо она – это нечто, имеющее величину, и одновременно ничто, бестелесное начало, ни на что не действующее и не подвергающееся воздействию, чего не может быть, потому что быть не может. Отсюда делался вывод, что пространство – это совокупность мест, занимаемых телами.

От этих двух позиций авторы, пишущие о пространстве, и прослеживают основные генетические линии современных представлений о нем. Но с такой традицией мы не согласны хотя бы потому, что сами эти две концепции уходят корнями в далекое прошлое. И (пара-

докс истории) эти древние взгляды в известном смысле (как мы покажем далее) ближе к современным теориям и гипотезам о пространстве, чем взгляды античных философов. Не отрицая генетической связи современности с античностью (особенно в европейской эпистемологической традиции), мы тем не менее считаем, что многие, причем наиболее революционные сейчас, представления о пространстве в «свернутом» виде существовали в мифологии древних, подобно тому как весь современный мир был «скрыт» в квантово-гравитационном «первоатоме», «взрыв» которого привел к возникновению нашей Вселенной.

Современные взгляды на мифологию, на ее природу, на содержание и значение древних мифов значительно расходятся. Общепризнанной концепции мифологии сегодня в науке не существует. Одни авторы считают мифы своеобразными «детскими» произведениями капризной фантазии, не дисциплинированного познанием мира воображения. Другие видят в мифологии выражение человеческого вдохновенного познания, не испорченного аналитическим мышлением и потому описывающего глубинные, сущностные выражения космоса и человека. Между этими двумя крайними позициями находится целое «поле» взглядов, содержащих различные их оттенки. Не анализируя детально дискуссии, ведущиеся по поводу сущности мифологии, изложим нашу точку зрения на этот вопрос, которая в известной степени отражает наше восторженное преклонение перед «детской» мудростью древних, проникающей глубоко в суть явлений только на интуитивно-обобщающем уровне с использованием аналогий. И чем больше развивается современная наука, чем больше открытий приносит она о наиболее интимных сторонах бытия, тем большее восхищение охватывает нас при взгляде на мифы, тем больше параллелей видно в прозрениях и догадках древних и в современных достижениях научного познания.

Под мифологией мы здесь понимаем последовательно связанную систему «фантастических» сказаний, являющихся продуктом народного творчества, направленного на познание мира, и объясняющих происхождение мира, показывающих место человека в этом мире и определяющих нормы его поведения, отношения как к окружающему миру в целом, так и к отдельным людям и социальным группам. Система мифов имеет региональный характер, т.е. формируется определенной относительно замкнутой общностью людей, живущих на определенной территории. Это обуславливает известную содержательную спе-

цифику мифов, которая может постепенно нивелироваться при расширении контактов данного сообщества с другими.

Мифологическая система начинает формироваться с первыми попытками познания и потому имеет мировоззренчески-познавательный характер. Этот процесс донаучного познания, объясняя окружающий мир, человеческое сообщество и человека с помощью фантастических образов, одновременно дает человеку возможность ориентироваться в окружающем, вести себя соответствующим образом. Причем такое поведение направлено на сохранение самого человека и, следовательно, обуславливает и, в свою очередь, обуславливается системой правил и норм поведения, изложенных в мифологии в качестве ее составляющей части, опирающейся на объяснение мира и места человека в нем. Тем самым мифологическая система носит и нормативно-регулятивный характер.

Общий момент всех мифологических систем – их фантастичность, которая появляется всегда в том случае, если человеческие качества без их критического осмысления переносятся, экстраполируются на окружение. Собственно говоря, это вполне естественный, психологически объяснимый и оправданный первый шаг и метод познания мира, метод аналогий – сравнение мира с собой, со своими ощущениями, с последствиями тех или иных собственных действий, с реакций своего организма на действия природных процессов и явлений. Максимально экономное, простое объяснение человек получает через антропоморфизацию мира. Но, и это особенно важно, помимо фантастического характера объяснения, следует и абсолютно правильное толкование и понимание взаимосвязанности, взаимообусловленности всего сущего, относительности индивидуальности и независимости явлений и процессов.

Развитая мифологическая система, опираясь на такой принцип всеобщей взаимозависимости и взаимообусловленности и выражая его, предстает логически замкнутой, совершенной системой, но тем самым она теряет возможности дальнейшего развития, совершенствуясь только в художественном плане и в плане конкретизации отдельных деталей, расширяя историко-событийную канву. Такая замкнутость мифологической системы позволяет достаточно однозначно классифицировать ее элементы – мифы. Исходя из названных особенностей мифологических систем, можно выделить мифы о происхождении (мира, богов, людей и т. д.), мифы о жизни и мифы о смерти. Разумеется, такое деление в известной мере условно, так как

в каждой группе мифов имеются элементы других групп. Но во всяком случае эта классификация достаточно связывается и обуславливается высказанным нами тезисом о логической замкнутости мифологических систем.

Выделение мифов о происхождении (порождении) обусловлено тем важным обстоятельством, что мифы, на наш взгляд, предназначены объяснять прежде всего причины сущего, которые и являют собой порождение явления, процесса. Действительно, построение системы поведения в мире упрощается пониманием причин происхождения мира. Если человек знает, что он и его соплеменники порождены от некоего объекта, то он понимает, что и жизнь его зависит от этого объекта, и соответственно ведет себя по отношению к нему. С другой стороны, порождение глубокой ассоциативной связью связано с порожденным, и познание порождения объекта кажется приобретением некой власти и над порожденным, и над порождающим.

В группе мифов о происхождении особо выделяются труднообъяснимые в отношении их генезиса мифы о периодической гибели и возрождении мира и конкретных объектов. Фактически появляются своеобразные концепции цикличности существования мира, сменяющих друг друга «мировых эпох» и множественности миров.

Мифы о жизни и смерти – более приземленные, обыденные и смыкаются с эпическими легендами, а также с мифами о порождении через понятие смерти не как небытия, а как инобытия, которое есть смерть в нашем мире и рождение в ином мире, иногда – в нашем мире, но в другом облике. Однако эти группы мифов нас интересуют в меньшей степени, так как в них почти не рассказывается о структуре мира как такового, как некоего целого. Мы обратимся к мифам о порождении, объясняющим мир, дающим мифологическую картину мира, его модель и позволяющим выделить мифологические представления о пространстве.

Эпистемологические традиции как ближневосточной и европейской мифологии, так и предфилософии во многом определялись древнеегипетскими мифологическими представлениями. В соответствии с ними солнечный бог Ра сотворил сначала Шу (бога воздуха) и Тефнут (богиню влаги), которые в свою очередь породили Геба (бога земли) и Нут (богиню неба). Но откуда появился бог Ра? В поздней мифологии этот вопрос не ставится, ибо Ра – верховное божество. Более древние мифы дают такой ответ: изначально существовал лишь первобытный океан, олицетворением которого было божество Нун. Но воды

его начали спадать, и из них показался первохолм, являющийся центром мира, основанием земли. Из яйца, образовавшегося на холме (вариант: снесенном неизвестно откуда явившейся гусыней) и появился Ра в облике птицы (облик этот сохранился во всей древнеегипетской мифологии). Из океана появилась небесная корова Метуэр («великая корова в воде»), четыре ноги которой представляли собой четыре опоры неба-крыши и четыре стороны, света.

Существовали и другие варианты олицетворения неба, например небо-коршун, причем во всех этих образах выделялись направления, соответствующие четырем сторонам света. Вообще необходимо отметить, что древнеегипетская мифология весьма запутанна, что обусловлено самой историей Древнего Египта (в частности, борьбой между светской и духовной властью) и выражено в основной дилемме его мифологии: склонности одновременно и к изменению, и к сохранению традиции. Но основные, наиболее важные для нас моменты, присутствуют во всех мифах: центральный холм, направления на четыре стороны света, небо сверху и земля под ним.

В шумерской мифологии из «горы небес и земли» верховным богом Энлилем были выделены небо и земля. Энки, бог воды, установил во вселенной порядок с помощью «ме» – «божественных законов, управляющих вселенной», и следил за их действием.

Наиболее известным из аккадских мифов является поэма о сотворении мира «Энума элиш» («Когда вверху»). В начале времен «вверху» неназванным небо, внизу земля безымянной были (буквальный перевод: «не существовали». – *Авт.*)), существовали только первоначальные океаны – Тиамат и Апсу. Затем были рождены несколько поколений богов, которые раздражали Тиамат и Апсу постоянной суетой, и Апсу решил покончить с ними. Но Эа (бог мудрости, у шумеров – Энки), убил его с помощью магических заклинаний и соорудил на мертвом Апсу свою обитель. Жена Эа родила Мардука, который убил Тиамат и сотворил из нее небо и землю. Затем он сотворил обиталище богов, начертал небесные созвездия, воздвиг ворота, через которые всходило и заходило Солнце, и заставил сиять Луну. Потом был построен Вавилон – центр мира на земле.

Таким образом, и в шумеро-аккадской мифологии выделяются небо, земля, центр мира, части света. Это же можно обнаружить и в хеттской мифологии.

В дошедших до нас в более полном виде мифологических системах Древней Индии и Древней Греции картина мира и соответственно

картина пространства предстают во всем блеске красок, тонов и полутонов, являют собой удивительный по совершенству образчик видения и познания мира. Особенно красочную картину дают древнеиндийские мифологические системы.

В древнейшем литературном памятнике Индии, «Ригведе», есть миф об Индре, анализ которого позволяет реконструировать представления древних индийцев об акте творения. Суть его в следующем. Когда еще не было вселенной, жили некие существа – Асуры (что можно перевести как «живая сила»). Среди них был демон Вритра («покров», «укрытие», «сокрытие»), отпрыск матери демонов Дану («ограничение», «стеснение»). Кроме потомков Дану, Данавов, к которым относился Вритра, существовали и другие Асуры, носящие имя «Адितья» («несвязанность», «неограниченность», «нестесненность»). Между Данавами и Адитьями шла непрерывная война, в которой Адитьи никак не могли добиться успеха. Тогда они взяли в качестве предводителя Индру. Эпитеты этого имени – «сын силы», «владыка силы». Судя по текстам «Ригведы», Индра был сыном Неба и Земли, зачатым и рожденным в то время, когда два эти божества жили вместе и имели общее жилище. Как впоследствии Будда, Индра при рождении вышел из бока матери. Выпив сомы – волшебного напитка, он вырос до таких устрашающих размеров, что Небо и Земля, охваченные ужасом, разлетелись в противоположные стороны, разлучившись навек, а Индра заполнил все пространство между ними. Он вступил в бой с Вритрой и его матерью Дану и убил их. После этого стала ясной причина войны между Адитьями и Данавами: из Вритры хлынули космические Воды – «божественные матери», давно стремившиеся на свободу. Воды породили Солнце.

Итак, в ходе борьбы между «живыми силами» («покровом» и «ограничением», с одной стороны, и «несвязанностью», «неограниченностью» под руководством «сына силы», «владыки силы» – с другой) была сотворена основа для дальнейшего развития вселенной: земля, небо, воздушное пространство, влага Вод, жар и тепло Солнца. После этого был вычленен из Асата («не-сущего»), живущего в глубине земли в царстве ужаса, Сат («сущее»), ставший обиталищем богов и людей. Был проложен канал в небесах, по которому двигалось Солнце, а космические Воды поселились на небе, откуда они посылали на землю влагу. Таким образом, мир был упорядочен и пущен в движение, которое регулировалось «Ритой» (переводится как «приведенное в движение»), имеющей в «Ригведе» смысл космической истины, или

порядка. Причем развитие мира, начиная с разделения неба и земли, идет относительно центра, или середины, мира – пупа земли, который в «Ригведе» (в более поздних гимнах) связывается с Пурумой – перво-человеком, вселенской душой. Вокруг этого центра и разрастается упорядоченный мир, борясь с окружающим хаосом.

В соответствии с другой древнеиндийской мифологической системой, генетически связанной с «Ригведой», из тьмы хаоса, покоившегося без движения, возникли воды, породившие огонь. Силой его тепла было рождено Золотое Яйцо, из которого возник прародитель Брахма. Верхняя половина Яйца стала небом, нижняя – землей, а между ними Брахма поместил воздушное пространство.

В более широко известных у нас древнегреческих мифах, литературное изложение которых мы находим прежде всего в Гомеровых «Илиаде» и «Одиссее», а также в «Теогонии» Гесиода, представления о рождении мира и его устройстве мало чем отличаются от тех, что отражены в рассмотренных выше вариантах мифологических систем. Причем у Гомера очень много сходства с восточными, а именно вавилонскими, мифами. Гесиод в отличие от Гомера детальнее показывает происхождение и структуру мира как результат борьбы божественных сил. Как и Гомер, он вводит понятие середины мира как середины земли.

К сожалению, мы не имеем возможности подробно анализировать мифологические системы Древней Греции и останавливаться на мифологических системах других народов. Однако отметим, что в мифах и якутов, и народов Алтая, и американских индейцев, и папуасов кивай и маринд-аним можно найти указания на центр мира, разделенные между собой небо и землю, на выделенные четыре стороны света. Все это позволяет нам достаточно убедительно реконструировать, построить модель пространства, существовавшую у древних.

Первым и, на наш взгляд, наиболее важным элементом модели пространства древних являются причины его рождения – это борьба космических сил в ограниченном объеме, причем каждая сила олицетворена в образе того или иного божества. В процессе рождения мира происходит борьба с окружающим его хаосом, одним из результатов которой становится пространственное упорядочение мира. Хаос – это воплощение отсутствия пространства до начала творения. Само пространство, разворачиваясь после «взрыва» некоего «первойца», одновременно одухотворяется, оживотворяется и получает качественную неоднородность. Оно в отличие от более поздних моделей пространст-

ва, ставших классическими, не идеальное, абстрактное, пустое вместилище, заполненное вещами, а наоборот, само создается ими и одновременно их создает. Вне вещей пространство древних не существует.

Другой важный элемент модели – неразличимость пространства и времени. Мифологическое сознание, как можно видеть, требует определения «здесь – теперь».

Третий элемент – наличие (в большинстве мифологических систем, особенно развитых) центра пространства (мировое дерево, пуп земли, священный город, гора, храм и т.п.), от которого в момент творения и начинается развертывание пространства, его развитие через развитие упорядоченных материальных и духовных объектов. Причем чем дальше от этого центра, чем ближе к границе между упорядоченным пространством и хаосом, тем большее сопротивление злых сил, олицетворяющих хаос, приходится преодолевать. Путь же к центру пространства – путь к совершенству. Прохождение этого горизонтального пути вызывает, формирует совершенство мифологического героя благодаря все большему упорядочению его сущности, и в центре пространства решается судьба героя.

Последний элемент модели пространства древних, который мы выделим, – это социализированность пространства через наполнение его сакральными символами, связанными с судьбой личности или социальной группы. Прохождение пространства требует выполнения определенных действий-обрядов, а символы святого центра (изображения святого дерева, горы, символы храма, крест) при правильном использовании ими помогают герою спастись от злых сил хаоса.

Таким образом, пространство древних имеет определенный центр, границы, составные части, связанные с землей и небом, оно неоднородно и анизотропно, лишено непрерывности, сплошной протяженности.

Однако развитие мифологических систем в сторону предфилософии на базе все более широкого видения мира (без углубления представлений о нем), развитие первых научных представлений, связанных с практическими потребностями людей (прежде всего – развитие геометрии), упрощение космогонии из-за усиления необходимости приобщения к религии все большего количества людей приводят к разрушению модели пространства древних. Представления о пространстве постепенно упрощаются, становясь все более очевидными. Это нашло свое отражение уже в первых философских системах, которые все больше отрывались от мифологии, хотя иногда и использовали мифологические образы и сюжеты.

Связь философии с мифологией, с мифологическим сознанием наложилась на философские представления древних о пространстве. Но, с другой стороны, на формирование этих представлений оказывало возрастающее влияние накопление эмпирического опыта, и в первую очередь опыта, связанного с геометрическими измерениями и астрономическими наблюдениями. Причем представления о пространстве в каждой древней цивилизации носили специфический характер, и специфичность эта определялась прежде всего степенью связности философии с мифологией, местом философии в соответствующей мировоззренческой системе и степенью развитости преднаучных и первых научных знаний. Поэтому для правильного понимания этих представлений необходимо сказать несколько слов об истории философии и науки в тот период – золотой период становления и расцвета первых классовых цивилизаций человечества.

Действительные элементы познания возникают в сфере непосредственной практической деятельности, как трудовой, так и социальной, при решении реальных задач. Именно решение реальных задач обнаряживает противоречия между знанием, полученным в процессе практической деятельности, и мифологическим мировоззрением. Разрешение этого противоречия и вызывает к жизни мировоззрение философское, которое в отличие от мифологического – объясняющее. Еще Аристотель утверждал, что «начали философствовать, чтобы избавиться от незнания».

Возникновение собственно философии стало возможным при появлении соответствующих условий и предпосылок. Одним из самых важных условий и предпосылок этого было отделение умственного труда от физического, которое, в свою очередь, явилось следствием разделения общества на классы. Таким образом, философия, не будучи порожденной только классовым делением, с самого начала приобрела классовый характер, ибо по времени ее возникновения совпало с расслоением общества на классы. Однако эти положения характеризуют условия и предпосылки становления философии лишь в самых общих чертах.

Действительно, в Древнем Египте, например, философия так и не возникла, несмотря на классовую дифференциацию общества, относительно высокий уровень социально-культурного развития, начавшийся процесс демифологизации, потребность в соответствующей идеологии. Причина в том, что в этом регионе основными носителями умственного труда были жрецы как особая идеологическая каста. Но именно по-

тому, что жречество представляло собой прежде всего идеологическую касту, определявшую духовную жизнь общества, а через нее воздействовавшую (в силу своего специфического положения) и на материальное производство, оно выполняло в первую очередь религиозно-идеологические функции. Эти функции были направлены на сохранение и укрепление существующей социальной системы. Причем укрепление государственности сопровождалось сохранением политеизма, так как фараоны и жрецы были постоянными антагонистами в борьбе за власть. Попытки фараонов ввести монотеизм неизменно встречали сопротивление многочисленной касты жрецов, потому что победа служителей одного бога означала экономические и социальные потери для служителей других богов. В то же время инициатива жрецов какого-либо храма установить первенство означала для фараона угрозу подчинения его политики политике этого храма.

Борьба за власть в централизованном государстве выражалась в стремлении укрепить веру в сверхъестественность социального, что, в свою очередь, укрепляло значение религиозно-мифологического компонента в мировоззрении, так как имеющиеся прото-научные знания не могли перевесить чашу весов в этой борьбе в ту или иную сторону. Тысячелетняя религиозная традиция выступала как повелительная и нивелирующая сила. Она исключала такую рационализацию мировоззрения, которая привела бы к возникновению философии. Единственным достижением в развитии представлений о пространстве, не получившим еще достаточного осмысления, явилось представление об обратной перспективе, ярко выраженное в древнеегипетском искусстве. Видимо, основа подобного представления лежит не только в требовании идеологии возвышать вождей над простыми смертными, но и в неких психологических особенностях египтян.

Захват Древнего Египта персами в 527 году до нашей эры еще более усугубил ситуацию, направив развитие духовной жизни Египта в сторону мистики, играющей большую роль в жизни Древней Персии. И хотя завоеватель Египта персидский царь Камбис предоставил египтянам свободу в религиозной и частной жизни, сохранил за ними должности в государственном аппарате, это не исключало воздействия персидского мировоззрения на древнеегипетское религиозно-мифологическое, и без того склонное к мистицизму. Такой симбиоз послужил одним из гносеологических корней древнегреческого, в частности платоновского, идеализма. В целом же без достижений древ-

неегипетской культуры было бы невозможным развитие древнегреческой философии.

Социально-классовая и духовная история Древней Греции развивалась иначе, чем история стран древнего Ближнего Востока. Более быстрые, чем в ближневосточном регионе, темпы овладения железными орудиями, значительно меньшая устойчивость сельских общин и определенная независимость, самостоятельность городов-полисов обусловили большую динамичность древнегреческого общества. Все эти факторы упрощали по сравнению с соседними регионами социально-классовую структуру общества и способствовали тому, что в жизни общества возрастало значение торговли и ремесла, которыми занимались свободные граждане полисов. В свою очередь, такое разделение труда снимало с древнегреческих жрецов функции ученых (которые в Древнем Египте всецело принадлежали служителям храмов), передавая эти функции торговцам, ремесленникам, политикам, что ослабляло религиозно-мифологические традиции в жизни общества и повышало роль рационалистического мышления.

Дифференциация труда на умственный и физический в пределах древнегреческой социально-классовой структуры привела к выделению собственно философских проблем, к выделению «максимально мыслимого предмета», за пределами которого не существовало бы никакого конкретного объекта познания. Так, например, уже в античной философии проводится различие между знанием «об общем» и знанием «о вещах». Этим обосновано известное подразделение на метафизику и физику. Вместе с тем философское и научное знание долго выступало как единое, нерасчлененное знание, процессы дифференциации и интеграции которого осуществлялись в едином русле, так как философия является наукой специальной, хотя и не частной.

Специфика философии состоит не только в том, что она дает обобщения высшего уровня, вырабатывая такие категории, как «материя», «пространство», «время», «сознание» и т.д. Это лишь количественная (т.е. по уровню обобщения) характеристика философии по сравнению с другими науками. Спецификой философского знания является и то, что количественные накопления – повышение уровня абстракции до всеобщности – приводят к новому качеству: только философия становится обосновывающим и обосновываемым мировоззрением. Этот факт обусловил то, что философия представляет собой не просто совокупность знаний, а идеи, поднявшиеся до уровня убеждений (в силу всеобщего характера законов, принципов и кате-

горий), превращающих эти идеи в персональные установки и практические ориентиры. Отсюда и вытекают многообразные возможности данного вида знания. Это не означает, разумеется, что философское знание не может быть неистинным. К последнему относится, например, идеализм.

В Древней Греции появились первые материалистические философские системы, в которых отвергалось мифологическое и религиозное мировоззрение. Выступив в форме натурфилософии, они были чрезвычайно наивными. Однако социальная нагруженность философии проявилась и в этой форме общественного сознания – в ее содержании, функционировании, связи с практикой. Особенности греческих полисов: их демократический характер, отсутствие культа касты жрецов, наличие торгово-ремесленных слоев общины с их заинтересованностью в науке – все это создавало благоприятные условия для расцвета прежде всего материалистических тенденций в античной философии, сформировавшихся в дальнейшем в сциентистскую сторону философского знания. В то же время мировоззренческая сторона философии развивалась преимущественно из мифологически-художественного мировоззрения, и поэтому в античном материализме проявились элементы идеализма.

Выше мы уже отмечали экстравертность мировосприятия в доклассовом обществе. Но с появлением классов формируется все более интравертное мировосприятие, так как человек, осознавая с развитием орудий труда и разделением труда, с вызванной этим индивидуализацией труда свою роль в данном процессе, осознает и свою силу, силу своего «Я», противопоставляя его миру. Мир становится понятнее человеку, его можно передать, воспроизвести более или менее точно, хотя и с помощью образов богов. Миф – это и попытка понять и объяснить мир, и попытка повлиять на него с помощью магических действий, вытекающих из мифологических ассоциаций. Религия освящает существующий социальный порядок и систему воздействий на природу через мифологические представления и предписания. Тем самым она выполняет и социальную, и познавательную, и практически-регулятивную функции.

С развитием производительных сил, с ростом населения и расширением осваиваемой территории возникает потребность, во-первых, в точных знаниях, и прежде всего астрономических и геометрических, во-вторых, в укреплении господства правящего класса рабовладельцев. И если первое привело в конечном итоге к становлению научного зна-

ния, то второе – к социализации мифа, его содержания для доказательства божественного происхождения власти. Возникает противоречие между знанием и религией, пока еще четко не оформившееся, неявное, но уже формирующее дуализм представлений. И выход знаний за пределы храмов, обусловленный необходимостью развития производства, способствовал появлению дуализма (материалистических тенденций в объяснении природы и идеалистических – в объяснении общества), а в конечном итоге разрушал мифологическую картину мира. Этот дуализм объясним: власть господствующего класса можно сохранить либо силой, либо обманом – религией, а совершенствование производства связано не с мистическими заклетами, а с конкретным практическим опытом и пониманием простейших природных закономерностей.

В период античности выделились три относительно независимые фундаментальные отрасли знания: астрономия, математика и философия. Для древнегреческой науки был характерен отказ от религиозно-мифологических образов и объяснений, обусловленный тем, что греческие ученые сталкивались с разнообразием религиозных представлений и верований (свои – для каждого города-полиса, для каждого района греческой Ойкумены), согласовать которые было невозможно. Это нашло отражение в критике антропоморфизации богов, которая по форме сводилась к замене абстракции (через олицетворение и приписывание полученному абстракту собственного имени) зафиксированными в языке общими представлениями, а по содержанию – к отказу от фантастических посредников в пользу естественных процессов, позволяющих связать исследуемые явления в рационально осмысленную систему.

Астрономия и математика носили эмпирический характер, обслуживали практические, «сиюминутные» нужды людей (навигация, землемерие, счет, времяисчисление и др.) и тем самым не включались в систему философских знаний. Но и они, отвергая мифологическо-художественные представления о мире, требовали рационализации мировоззрения.

Все эти причины и условия формирования и развития ранней древнегреческой философии определили ее сциентистскую сторону – изучение развития мира как такового, причины его возникновения – и мировоззренческую сторону – изучение соотношения мира и людей, макрокосма и микрокосма.

Дальнейшее развитие греческого общества (расширение полисов, усложнение социальных отношений, выход за пределы раннегреческой Ойкумены, связанный с разворачиванием мореплавания, а позднее –

с завоевательными походами Александра Македонского) привело к формированию в философии Платона идеалистического направления древнегреческой философии. Развитие идеализма связано прежде всего с усилением социальной роли рабовладельческой аристократии, идеологи которой, как правило, отстаивали реакционные идеалистические взгляды.

Но помимо социальных причин, идеализм имел и гносеологические корни: развитие абстрактного мышления сделало возможным «существование» понятия «самого по себе», в отрыве от вещи. Для древнегреческого идеализма, как и для других, более поздних его форм, было характерно стремление к развитию мировоззренческой стороны в большей степени, чем сциентистской. Это вызвано прежде всего его «социальным происхождением» и социальной задачей – защищать интересы реакционной части общества. Материализм же был заинтересован в развитии в первую очередь сциентистской стороны философского знания.

Задачей древнегреческих материалистов было познание объективной сущности всех вещей и явлений, которую они видели в некотором первоначале. Объектом теоретического размышления был и мир в целом, а изучаемым материалом – многочисленные эмпирические данные, накопленные в процессе практической деятельности человека, связанной с материальным освоением мира.

В отличие от материализма объектом идеализма были в первую очередь социальные отношения. Как мы уже отмечали, возникновение идеализма связано с разложением древнегреческого рабовладельческого полиса накануне походов Александра Македонского. Сложные социальные процессы, вызванные развалом полисной социально-политической системы, переход к крупному рабовладению и сопутствующий этому рост грабительских и захватнических войн, которые затрагивали все слои немногочисленного тогда населения, вызывали стремление либо затормозить эти процессы, реставрировать, пусть даже на новой социально-экономической основе, прошлое, либо обосновать необходимость социальных перемен. В природных процессах не находилось аналогов социальным бурям, потрясающим древнегреческий мир: не силы природы определяли социальные изменения, а деятельность людей. Однако древние философы еще не могли связать эту деятельность с материальными общественными отношениями, тогда еще неразвитыми, «неявными», в то время как зависимость от мысли, разума личности казалась очевидной. Абсолютизация этой зависимости

привела к представлению о господстве идей над материей. Формируется четко выраженный идеализм, хотя в нем и присутствуют разного рода материалистические элементы.

Таким образом, материализм шел в своем развитии от природы, идеализм – от общества. Для идеализма обращение к созерцательному анализу природных явлений служило средством подтверждения его социальных концепций. Считалось, что общество гармонично, потому что гармонична природа, а гармония в природе устроена богом. Базируясь на этом положении, можно было либо призывать к возвращению в «гармоничное», «не нарушенное» человеческой деятельностью прошлое, либо обосновывать разумность настоящего, разумность социальных преобразований, которые якобы предопределены богом, судьбой и т.п. На такой основе строились различные идеалистические концепции.

Все эти особенности развития древнегреческой философии определили тот факт, что ни в одной философской системе пространство как фундаментальная категория не присутствует. Из-за тесной связи с мифологией в условиях неразвитости естественнонаучных представлений, имеющих сугубо прикладной характер, космогонические «разделы» философских систем античности сохраняют отдельные элементы или в крайнем случае особенности мифологических представлений о пространстве, о которых мы говорили выше. Но каждая философская система имеет специфические черты, которые, во-первых, позволяют реконструировать представления о пространстве, сделать их более явными, во-вторых, классифицировать эти представления, что, как мы увидим дальше, будет иметь немаловажное значение для изложения дальнейшей истории взглядов на пространство.

Поскольку от работ первого древнегреческого философа Фалеса до нас дошли лишь три отрывочных свидетельства, по которым невозможно реконструировать его космологические взгляды и из них выявить его представления о пространстве, рассмотрим эти вопросы, начиная с Анаксимандра.

Общепризнанно, что космологическое учение Анаксимандра генетически связано с греческой и восточной мифологией. Но, в отличие от мифологических моделей мира, вселенная у Анаксимандра сферична. В центре этой сферы-вселенной находится цилиндрическая Земля, равноудаленная от всех точек сферы. Сама сфера окружена огненной оболочкой, все точки которой в принципе однородны. От этой огненной сферы отделился ряд колец, вращающихся вокруг Земли и окруженных воздушной трубчатой оболочкой с отверстиями, через кото-

рые в виде Солнца, Луны и других небесных светил просвечивает огненная масса. Как предполагают исследователи, такое представление о светилах имеет восточное происхождение, связанное, видимо, с иранской мифологией, так как порядок расположения светил соответствует именно иранским представлениям.

Внутренние диаметры солнечного, лунного и звездного колец относятся друг к другу как 27:18:9 (за единицу принят диаметр Земли-цилиндра). Эти числовые соотношения выражают, таким образом, определенную геометрическую структуру пространства, лежащую в основании модели вселенной Анаксимандра, что в известной степени дает более развернутую картину вселенной по сравнению с мифологической. Идея симметричности пространства также выходит за пределы мифологических представлений. Но направленность пространства от центра к периферии, его замкнутость и структура, определяемая противоборствующими стихиями, обнаруживают явные мифологические параллели.

Космологические построения Анаксимена в значительно большей степени, чем у Анаксимандра, связаны с человеческим опытом. Его вселенная состоит из таких компонентов, которые являются частью окружающего нас мира, либо аналогичны тому, что можно видеть вокруг себя. В соответствии со взглядами Анаксимена, все образовано из воздуха путем его сгущения либо разрежения. В воздухе покоится образованная из него плоская Земля. Ее испарения образовали Солнце, Луну и планеты, которые также плоские, благодаря чему, подобно листьям, держатся в воздухе. Их движение обусловлено сгущением воздуха. Периферия вселенной – хрустальная сфера, в которую, как гвозди, вбиты звезды. Таким образом, у Анаксимена пространство не обладает, как у Анаксимандра, слоисто-сферической структурой, оно не симметрично, но также имеет избранное направление.

Гераклит в качестве первоначала избрал огонь, который он представлял как разреженную и чистую субстанцию, похожую на сухие испарения. Все остальное существующее, по Гераклиту, является модификациями огня. При движении вниз сгущение огня превращается в воду, а вода – в землю. Путь вверх – это превращение земли последовательно в воду и огонь. Вверху чистые испарения собираются в корытообразных вместилищах, и так формируются светила. Причем все это находится в состоянии постоянного изменения и движения в результате непрекращающейся борьбы противоположных стихий, образуя тем самым пространство мира.

У других философов этого направления, которое можно назвать ионийским (Парменид, Анаксагор и др.), несмотря на все различия их систем, общие характеристики пространства, которые можно выявить, идентичны уже отмеченным: избранность направления, ограниченность, наличие (у некоторых философов – отсутствие) центра и определенность его структуры, возникающей вследствие действия стихий. Принципиальные отличия от мифологических систем – отсутствие борьбы божеств, определяющих в результате этой борьбы структуру пространства, и материальный характер самой структуры.

Существенно иные представления о пространстве у древнегреческих философов-атомистов. У них первичное состояние вселенной предстает как бесконечное пустое пространство, в котором во всех направлениях движутся бесчисленные частицы – атомы. Причина появления таких представлений связана с поиском источника движения. Если у ионийцев таким источником являются внешние факторы, действием которых обусловлены процессы космообразования и тем самым процессы формирования и развития пространства и его структуры, то у атомистов движение существовало вечно в форме пространственного перемещения атомов.

Первый вариант стал неприемлемым именно из-за необходимости специального «придумывания» внешних источников движения, в то время как второй на первый взгляд кажется более логичным и простым. И именно для объяснения возможности движения атомов необходимо было ввести понятие пустого пространства, разделяющего атомы и дающего им возможность перемещения относительно друг друга. В таком пространстве нет избранного верха и низа, оно вечно и бесконечно, не имеет какой-либо структуры, превращаясь во вместилище мира. Единственно лишь в учении Эпикура сохраняется абсолютность верха и низа, введенная из-за необходимости объяснения свойства тяжести, под действием которой атомы движутся сверху вниз. И только случайные отклонения от этого движения, полагал Эпикур, приводят к сцеплению атомов и в результате – к космообразованию. Причина введения такого представления вызвана стремлением Эпикура отказаться от предопределенности всего существующего, которая вытекает из господства необходимости, утверждаемого в системе Демокрита.

В концепции атомистов есть один момент, вызывающий большой интерес. Речь идет о том, что, на наш взгляд, в атомистической космогонии существуют неявным образом два противоположных представ-

ления о пространстве. Первое — это то, о чем мы уже говорили. Второе же близко к ионийским представлениям.

Суть второго представления в следующем. Сцепление большого количества атомов образует атомные космические вихри, ведущие к зарождению миров. При этом возникает прежде всего внешняя оболочка, подобная пленке, которая окружает мир, отделяя его от внешнего пустого пространства. Пленка обеспечивает стабильность образованного космоса, препятствуя вылету атомов за пределы космического мирового вихря. В процессе взаимодействия внутри этого вихря наиболее тяжелые атомы образуют в центре космоса Землю в форме плоского диска или барабана. Атомы меньших размеров создают все другие тела, которые в силу возникшей тяжести после образования Земли распределяются по всему замкнутому объему в соответствии со своим весом. Таким образом, мы имеем замкнутое внутри пленки пространство, наполненное телами, которые и определяют структуру этого пространства, где существуют верх и низ, т.е. избранные направления. Тем самым мы получаем вторую разновидность пространства, по своим свойствам подобного отраженному в ионийских представлениях.

Возникает определенное противоречие: существуют два пространства — бесконечное, пустое и изотропное, с одной стороны, и конечное, определяемое телами, имеющее центр и анизотропное — с другой. Видимо, идея множественности миров, создаваемых множеством космических вихрей, в известной степени разрешает это противоречие. Причем, по мнению Демокрита, эти миры могут сильно отличаться от нашего, имея тем самым и другие пространственные структуры. Такую идею весьма заманчиво сравнить с современными, пока еще неразработанными, высказываемыми в виде качественных гипотез взглядами на пространство, о чем мы будем говорить далее. Во всяком случае можно видеть, что в учении атомистов сочетаются представления о пространстве как условии существования материи с представлениями о материальной обусловленности существования пространства, о его континуальности.

Помимо взглядов ионийцев и атомистов необходимо выделить взгляды Платона и Аристотеля, которые фактически завершили ионийскую традицию. Аристотель синтезировал ионийские и атомистические представления, правда не в пользу атомистов, отвергая все идеи Демокрита. Но в этом-то и парадокс познания! Платон продолжил линию ионийцев на идеалистической основе, критически переосмысливая идеи пифагорейцев (на этих идеях мы особо останавливаться не

будем, так как в контексте представлений о пространстве они во многом перекликаются с платоновскими). В то же время в его концепции присутствуют и атомистические представления.

Основные компоненты платоновского мира, состоящие из мельчайших невидимых частиц, имеющих формы правильных многогранников, – четыре стихии, в основе которых лежит общая, неопределенная материя, называемая Кормилицей или Восприемницей. Эти четыре стихии упорядочены с помощью образов и чисел. Космос строго сферичен, в его центре помещается сферическая Земля. Таким образом, вселенная, а следовательно, и пространство симметричны относительно избранного центра. В силу того, что Земля притягивает все материальные тела, выделяются верх и низ, причем вверх тело может двигаться лишь по принуждению. Отсюда можно видеть, что платоновское пространство по основным своим характеристикам близко к пространству ионийцев, но в отличие от него более симметрично благодаря сферичности Земли (у Анаксимандра, как мы помним, Земля имеет цилиндрическую форму) и имеет в фундаменте атомарную структуру, так как стихии и тела, составляющие пространство, состоят из мельчайших частиц, являясь одновременно и вместилищем мира. Как и в случае атомистов, мы имеем здесь дуалистический вариант представлений о пространстве.

Взгляды Аристотеля на пространство также явным образом не сформулированы, что, как мы уже отмечали, характерно для всей античной философии и протонауки. Однако реконструировать аристотелевские представления о пространстве можно, проследив, как он использует фундаментальное понятие «место». Но прежде всего необходимо отметить, что в своей книге «Физика» Аристотель отрицает атомистические тезисы о возможности существования бесконечности и пустоты. Дискутируя с атомистами, он пытается сформулировать противоречия, к которым, как ему представляется, приводит допущение существования пустого пространства. В пустоте, по мнению Аристотеля, «нет оснований двигаться сюда больше, сюда меньше: поскольку это пустота, в ней нет различий», поэтому нет и причин для движения. Относительно бесконечности он рассуждает таким образом: «Поскольку имеется (с точки зрения атомистов. – *Авт.*) бесконечность, не будет ни верха, ни низа, ни центра», следовательно, невозможно ни естественное, ни насильственное (по терминологии Аристотеля) движение, то есть невозможно любое движение. Имеется еще одно возражение против идеи существования бесконечного пустого пространства.

По Аристотелю, движение происходит (после придания телу толчка) вследствие действия воздуха, окружающего движущееся тело. Кроме того, быстрота движения обратно пропорциональна сопротивлению. Следовательно, в пустоте скорость движения должна быть либо бесконечно большой, либо все тела будут иметь равную скорость. «Но это невозможно», – заявляет Аристотель и делает вывод, что пустого пространства не существует.

Следует отметить, что космология *до* Аристотеля, как мифологическая, так и протонаучная, имела по большому счету прагматический характер, поскольку была направлена в первом случае на постижение роли богов и своего места в мире, во втором – на решение технических проблем, связанных с определением координат, времен года и т.д. Для Аристотеля характерно стремление заниматься «чистой» наукой, особую ценность которой он видел в ее бесполезности, поскольку достижение выгоды, согласно Аристотелю, могло исказить поиск истины. Познание ради познания, предпринятое в области космологии, привело его к построению как общей геоцентрической картины мира, так и исследованию ряда вопросов, связанных с определением размеров вселенной, доказательства ее единственности и т. д.

Предпосылками Аристотелевской модели вселенной являются как мифологические и протонаучные представления, так и философские учения. От мифологии Аристотель заимствовал:

- представление о вечности и неизменности небес;
- ценностное противоположение земного (ограниченного) и небесного (совершенного);
- антропоморфный в целом характер объяснений;
- представление о божественной природе небес, выражающееся в убеждении, что за воспринимаемым миром стоит причинно первичное разумное начало.

Для астрономической науки того времени было также характерно представление о высшей сфере звезд как о неизменной, поскольку «согласно [историческим] преданиям, передававшимися из поколения в поколение, ни во всем высочайшем Небе, ни в какой-либо из его частей за все прошедшее время не наблюдалось никаких изменений». Аристотель использует данные трудов Евдокса в вопросе определения количества круговых движений планет.

В числе философских предпосылок космологии Аристотеля следует назвать:

– представление о конечности мира, зародившееся из логических рассуждений, как стремление избегать бесконечной редукции при объяснении. В дальнейшем устранение логической редукции *ad infinitum* было распространено на пространственные (мир конечен, сферичен и замкнут), временные (мир имеет начало во времени) и причинные (учение о первопричинах) представления;

– представление о нечувственном характере познания, имеющее широкое распространение в античной философии и на долгое время полностью вытеснившее эпистемологические установки ранней натурфилософии. Отрицание возможности чувственного познания восходит, по всей видимости, к Гераклиту, учившему о текучести и изменчивости мира. Поскольку каждое мгновение старое исчезает, уходя в небытие, а новое нарождается, чтобы тут же погибнуть, из концепции Гераклита о динамизме вещей логически следовала невозможность познания мира, ибо последний меняется, равно как и познающий субъект. Первое решение проблемы Гераклита предложил Парменид, разделивший пути познания на путь истины и путь мнения. Истинное познание возможно лишь о неизменном нечувственном, ибо воспринимаемый мир подвержен изменениям. Парменид повлиял на Платона, у которого двадцать лет учился Аристотель. Платон предположил, что познаваемыми сущностями являются идеи – некие неизменные интеллигибельные начала. Аристотель в качестве нечувственного вечного начала принял формы.

Именно формы являются одним из трех начал, стоящим за сотворением мира. Но и форма, и материя – неопределенный субстрат, олицетворяя действительность и возможность, являются началами подвижными и изменчивыми. Боязнь бесконечности не позволяет одно движение объяснять через другое сколь угодно долго. В ряду причин следует положить конец и им должно стать третье первоначало, неподвижное, но приводящее в движение весь остальной мир. Это первое начало есть причина всего.

Первоначало должно быть деятельным, чтобы творить, но деятельность есть изменение. Поскольку первоначало является чем-то совершенным, то движение будет означать утрату совершенства. Поэтому допустимы только определенные типы движения, среди которых совершенным является круговое. Аристотель заключает, что поскольку первоначало, сущность которого состоит в деятельности, а природа вечная и неизменная, постольку оно не может быть материальным. Как высшая и совершенная сущность первоначало должно двигаться со-

вершенным, то есть круговым движением. «Первый вид изменений – это перемещение, а первый вид перемещения – круговое движение. Круговое же движение вызывается [первым] движущим. Следовательно, [первое] движущее есть необходимо сущее; и, поскольку оно необходимо сущее, оно существует надлежащим образом, и в этом смысле оно начало... Так вот, от такого начала зависят небеса и [вся] природа».

Далее Аристотель задается вопросом, существует ли лишь одна такая сущность или их больше, и сколько именно. «Так как движущееся должно чем-то приводиться в движение, а первое движущее – быть неподвижным само по себе, причем вечное движение необходимо вызывается тем, чтоечно, и одно движение – чем-то одним, и так как помимо простого пространственного движения мирового целого, движения, которое, как мы полагаем, вызвано первой и неподвижной сущностью, мы видим другие пространственные движения – вечные движения планет (ибоечно и не знает покоя тело, совершающее круговое движение; это показано в сочинениях о природе), то необходимо, чтобы и каждое из этих движений вызывалось самой по себе неподвижной и вечной сущностью. Ибо природа светил вечна, будучи некоторой сущностью, и то, что движет их, должно быть вечным и предшествовать тому, что им приводится в движение, а то, что предшествует сущности, само должно быть сущностью. Таким образом, очевидно, что должно существовать столько же сущностей, [сколько имеется движений светил], и что они вечны по своей природе, сами по себе неподвижны и не имеют (по указанной выше причине) величины».

Поскольку число сущностей должно совпадать с количеством движений светил, Аристотель предлагает обратиться к учению о небесных светилах, которое он рассматривает как часть математики. Опираясь на учение Евдокса, Аристотель принимает, что «движение Солнца и Луны происходит у каждого в трех сферах, из которых первая – это сфера неподвижных звезд, вторая имеет движение по кругу, проходящему посередине созвездий зодиака, третья – по кругу, отклоняющемуся по широте от зодиака (при этом на большую широту отклоняется тот круг, по которому движется Луна, нежели тот, по которому движется Солнце). Движение планет, по мнению Евдокса, происходит у каждой в четырех сферах, и из них первая и вторая – те же, что и указанные выше (ведь сфера неподвижных звезд есть сфера, несущая с собой все [другие], и та, которая расположена ниже и имеет движение по кругу, проходящему посередине созвездий зодиака, также общая для всех); у третьей сферы всех планет полюсы находятся на круге,

который проходит посредине созвездий зодиака, а движение четвертой совершается по кругу, наклоненному к среднему кругу третьей; и полюсы третьей сферы у каждой из других планет свои, а у Афродиты и Гермеса одни и те же. У Каллиппа расположение сфер такое же, что и у Евдокса, и количество их для Зевса и Кроноса он отводил одинаковое с Евдоксом, но для Солнца и для Луны, по его мнению, надо было еще прибавлять по две сферы, если хотят объяснить наблюдаемые явления, а для каждой из остальных планет – по одной. Однако если эти сферы должны в своей совокупности объяснять наблюдаемые явления, то необходимо, чтобы для каждой планеты существовали другие сферы – числом меньше на одну, – такие, которые бы каждый раз поворачивали обратно и приводили в то же самое положение первую сферу светила, расположенного ниже, ибо только так может вся совокупность сфер производить движение планет. А так как [основных] сфер, в которых вращаются планеты, одних имеется восемь, других – двадцать пять и из них не требуют возвращения назад только те, в которых движется планета, расположенная ниже всего, то сфер, возвращающих назад сферы первых двух планет, будет шесть, а тех, которые возвращают назад сферы последующих четырех – шестнадцать; и, таким образом, число всех сфер – и тех, которые несут планеты, и тех, которыми эти последние возвращаются обратно, – пятьдесят пять. А если для Луны и для Солнца не прибавлять тех движений, которые мы указали, то всех сфер будет сорок семь».

Поскольку для приведения в движение каждой небесной сферы должна существовать отдельная сущность, то и сущностей следует предположить столько же, сколько сфер. Число их не может быть большим, поскольку они приводили бы тела в движение, а Аристотель считает перечень движений исчерпывающим. Движения происходят ради светил, которые хоть и чувственно воспринимаемые, но представляют собой вечные сущности.

Таким образом, предпосылки создания космологической картины у Аристотеля отчасти мифологические, а отчасти – онтологические. Философское учение о сущностях он использует для объяснения круговых движений планет, которое само по себе является антропоморфным, поскольку движущей причиной является целевая.

Рассмотрению структуры космоса Аристотель посвящает специальный трактат «О небе», где рассматриваются некоторые частные вопросы устройства вселенной.

В трактате «О небе» исследуется проблема размера вселенной. Поскольку вселенная рассматривается как составное тело, для решения вопроса о размере вселенной важно показать, что каждая часть имеет конечный размер. Основными частями вселенной, по Аристотелю, являются элементы. Чтобы обосновать конечность вселенной, Аристотелю требуется доказать конечность простых тел, так как то, что состоит из конечных частей – само конечно.

Рассуждая с помощью геометрических соображений, что бесконечно большое тело не может двигаться по кругу, Аристотель приходит к выводу о конечности вселенной. «Если тело, движущееся по кругу, бесконечно, то линии, т.е. радиусы, проведенные из центра, будут также бесконечны. А если они бесконечны, то и промежуток между ними бесконечен. Под промежутком между двумя линиями я понимаю пространство, вне которого невозможно найти никакую протяженную величину, соприкасающуюся с обеими линиями. Этот промежуток, стало быть, должен быть бесконечным, во-первых, потому, что у конечных радиусов он всегда будет конечным, а во-вторых, потому что его всегда можно взять больше данного, и, следовательно, то же самое рассуждение, на основании которого мы говорим, что число бесконечно («потому что наибольшего не существует»), имеет силу также и в отношении промежутка. Поэтому если бесконечное нельзя пройти из конца в конец, а в случае, если круговращающееся тело бесконечно, промежуток между радиусами по необходимости должен быть бесконечным, то оно не могло бы двигаться по кругу, а между тем мы очевидно видим, что небо вращается по кругу».

Кроме того, время в пути при преодолении бесконечного расстояния должно быть также бесконечным, а наблюдения показывают, что небо совершает полный оборот за конечное время. «Следовательно, бесконечное не может двигаться вообще, ибо даже для движения на наименьшее расстояние ему понадобится бесконечное время».

Аналогичные рассуждения Аристотель проводит и для прямолинейных движений вверх или вниз, которые должны быть ограничены, чтобы промежуток между ними был также ограниченным. В противном случае прямолинейное движение было бы бесконечным. Но это, согласно Аристотелю, невозможно, так как если одна из противоположностей ограничена, то будет ограничена и другая. Направление вниз ограничено центром вселенной, следовательно, и направление вверх должно быть конечным.

Кроме того, бесконечно большое тело, естественное движение которого направлено к центру вселенной, должно обладать бесконечно большим весом, что приводит к невозможным следствиям. В частности, такое тело невозможно привести в движение. «Что бесконечное существует, уверенность в этом проистекает у исследователей прежде всего из пяти [оснований]: [1] из времени (ибо оно бесконечно); [2] из разделения величин (ведь и математики пользуются бесконечным); [3] далее, что только в том случае не прекратиться возникновение и уничтожение, если будет бесконечное, откуда берется возникающее; [4] далее, из того, что ограниченное всегда граничит с чем-нибудь, так что необходимо, чтобы не было никакого предела, раз одно всегда необходимо граничит с другим [5]. Но больше всего и главнее всего – что составляет общую трудность для всех – на том основании, что мышление [никогда] не останавливается [на чем-нибудь] и число кажется бесконечным, и математические величины, и то, что находится за небом. А если находящееся за [небом] бесконечно, то кажется, что существуют и бесконечное тело, и бесконечные [по числу] миры, ибо почему пустоты будет больше здесь, чем там? Таким образом, если масса имеется в одном месте, то она [находится] и повсюду. Вместе с тем, если пустота и место бесконечны, необходимо, чтобы и тело было бесконечным, так как в вещах [вечных] возможность ничем не отличается от бытия. Рассмотрение бесконечного имеет свои трудности, так как и отрицание его существования, и признание приводят ко многим невозможным [следствиям]. Далее, каким образом существует бесконечное: как сущность или как свойство, само по себе присущее некоторой природе? Или ни так ни эдак, но все же бесконечное существует – или как бесконечное [по величине], или как бесчисленное множество. Для физика же важнее всего рассмотреть [вопрос], существует ли бесконечная чувственно-воспринимаемая величина».

Также бесконечное тело не может подвергаться воздействию со стороны другого тела – все равно, конечного или бесконечного – или производить действие на другое тело. Поэтому все чувственно воспринимаемые тела, действующие на наши органы чувств, не могут быть бесконечно большими.

Возможно, вселенная столь велика, что в ней существует несколько небосводов? «Слово «небо» – *ouranos* – имеет у греков три значения: 1) небо как внешняя, окаймляющая космос сфера, на которой размещены неподвижные звезды; 2) небо как часть космоса, расположенная между Луной и сферой неподвижных звезд; 3) Небо как обозначение

ние всего того, что окружено сферой неподвижных звезд, включая подлунный мир и Землю. В последнем из этих значений термин «Небо» совпадает по своему содержанию с термином «вселенная» (*to pan*). В заглавии аристотелевского трактата «Небо» выступает именно в этом, третьем значении, ибо темой трактата является устройство космоса в целом, а не какой-либо его части». Небом называлось все мировое целое и вселенная.

Невозможность существования многих миров Аристотель обосновывает, опираясь на учение о движении. Допустим, существует несколько небосводов. «Все космосы необходимо должны состоять из тех же самых тел, [что и наш,] коль скоро они одинаковы [с ним] по [своей] сути (*physis*)». Каждому телу свойственно по природе двигаться либо от центра, либо к центру мира. Но относительно нашего космоса эти движения будут обратными: «число движений конечно и каждый элемент определяется одним движением. Таким образом, коль скоро движения тождественны, то и элементы везде должны быть одни и те же. Следовательно, частям земли другого космоса от природы свойственно двигаться также и к этому центру, а тамошнему огню – также и к здешней периферии. Но это невозможно, ибо в таком случае земля в своем космосе должна двигаться вверх, а огонь – к центру, равно как и здешняя земля должна естественно двигаться от центра в своем движении к тамошнему центру вследствие такого расположения космосов относительно друг друга».

Если бы помимо нашего существовал еще и другой мир, то в этом мире был бы свой центр, своя периферия и свои движения. Тогда движения круговые с точки зрения центра одного мира, будут насильственными, т.е. не круговые для другого.

В своих рассуждениях Аристотель предполагает некую масштабную однородность пространства (природа тел не меняется в зависимости от их места), но его пространство неизотропно из-за наличия выделенных направлений – к центру и от центра Земли. Поскольку одинаковые по природе тела должны двигаться одинаково относительно центра, Аристотель заключает, что центр – только один и, следовательно, небо тоже только одно.

Аристотель принимает, что множественность присуща материи, но небеса вечны и неизменны и потому нематериальны. «Первое движущее, будучи неподвижным, одно и по определению, и по числу; стало быть, всегда и непрерывно движущееся также только одно. Значит, есть только одно небо».

Кроме умозрительных рассуждений, Аристотель использует и ссылку на опыт: «Если всякое – чувственно-воспринимаемое тело обладает либо способностью действовать, либо способностью подвергаться воздействию, либо обеими, то бесконечное тело не может быть чувственно-воспринимаемым. А между тем все тела, находящиеся в пространстве, чувственно-воспринимаемые. Следовательно, вне неба не существует никакого бесконечного тела. В то же время [там не существует и тела, протяженного] до определенной границы. Следовательно, вне неба не существует вообще никакого тела. Ибо если [там есть] умопостигаемое [тело], то оно будет находиться в [определенном] месте, поскольку вне и внутри означают место. Тем самым оно будет чувственно-воспринимаемым». Небо как чувственно-воспринимаемая вещь, должно быть единичной вещью.

Аристотель доказывает не только единственность Неба, но и невозможность других небес. Поскольку небеса чувственно-воспринимаемы, а следовательно, материальны, то требуется обсудить вопрос: вся ли материя включается в наше небо, или остается материя, достаточная, чтобы слагать иное Небо. Но ни одно тело не может находиться за пределами крайней сферы из соображений невозможности там движения. Круговращающееся тело не может сменить своего места. Тела, движущиеся к центру и от центра «находиться там не могут, поскольку свойственные им места – другие». Поэтому противоестественно предполагать наличие тел вне Неба. Наш космос, взятый в целом, состоит из всей «свойственной ему материи», поэтому иных небосводов нет и быть не может.

Аристотель доказывает, что вселенная не возникла и не может быть уничтожена, так как все возникшее должно быть уничтожимым. Вне неба нет ни пустоты, ни места, ни времени. «Время есть счет движения, а движение без естественного тела невозможно. Между тем доказано, что вне Неба нет и не может оказаться тела. Следовательно, очевидно, что вне Неба нет ни места, ни пустоты, ни времени». Опираясь на учение о противоположностях, Аристотель отмечает, что тела, движущиеся круговым движением, не обладают противоположностью, а потому не могут изменяться, ибо изменение предполагает переход в противоположное состояние. «Столь же логично будет считать его невозникающим, неуничтожимым и не подверженным ни росту, ни [качественному] изменению, так как все возникающее возникает из [своей] противоположности и из некоторого субстрата и уничтожается – равным образом при наличии некоторого субстрата – под действи-

ем противоположности и переходя при этом в свою противоположность..., движения противоположностей также противоположны. Так вот, если у этого тела не может быть противоположности по той причине, что и круговому движению также никакое движение не противоположно, то, думается, природа поступила правильно, исключив из разряда противоположностей тело, которое [по ее замыслу] должно быть невозникшим и неуничтожимым: ведь возникновение и уничтожение имеют место в противоположностях».

Аристотель приходит к выводу, что небесные тела вечны, ни растут, ни убывают, не стареют, не изменяются качественно, что соответствует их божественной природе. То, что расположено над самой внешней орбитой, также не знает изменений и полный срок существования всего неба есть срок, объемлющий целокупное время и бесконечен.

Аристотель подробно исследует проблему возникновения и уничтожения, разбирая мнения других философов. С его точки зрения, учения философов, рассматривающих возникновение из элементов, не противоречит вечности космоса, так как элементы, слагающие тела уже были до появления самих тел.

Вплоть до конца средневековья и начала эпохи Возрождения в европейских философских системах закрепились (с некоторыми вариациями) эти аристотелевские представления о пространстве. Представления же о локальном пространстве были геометризированы и детально разработаны в системах древних геометров и механиков, и прежде всего в геометрии Евклида. Но поскольку это учение (в контексте нашего рассказа о развитии представлений о пространстве) не касается сущностных, фундаментальных аспектов пространства и лишь описывает его локализованную область, не меняя сути представлений о пространстве, мы не будем останавливать на нем внимание читателя, отсылая его к исследованиям по истории геометрии, а перейдем к вопросу о том, как представляли себе пространство восточные, прежде всего индийские и китайские, мудрецы. Но сначала кратко очертим исторический и историко-философский фон, на котором, будучи им обусловлены, и развивались представления о пространстве.

Древнекитайское государство в отличие от древнегреческих городов-полисов – централизованная монархия, для которой характерно наличие широко разветвленной бюрократической системы управления. Единая централизованная империя требовала для своего упрочнения разработанной идеологической системы, которая должна была обосновать необходимость и единственность сложившихся государственной

структуры и норм отношений между людьми и социально-классовыми группами. Это обусловило то, что в древнекитайской философии развивались прежде всего морально-этические системы, и, несмотря на серьезные достижения древнекитайского естествознания, она не разрушала религиозно-мифологического мышления и носила поэтому дуалистический характер.

Для древнекитайской философии, по сути своей – идеалистически-социальной, было естественным, таким образом, слабое развитие научно-познавательной стороны. За редкими исключениями китайские философы не связывали своих построений с естествознанием. Сама же мировоззренческая сторона философии была идеалистической, социально-созерцательной, имела глубокие субъективистские традиции. Этому способствовало и развитие языка, который в силу своей специфики затруднял выработку абстрактного философского языка. Философия Древнего Китая стояла особняком от недолгого развития древнекитайской науки, воздействуя лишь на социальное мышление, социальные традиции.

Сложнее обстояло дело с древнеиндийской философией, наложившей отпечаток на всю азиатскую науку и культуру. Индийский регион по уровню своего социального развития стоял как бы между Древней Грецией и Древним Китаем. Особенности его определялись наличием крупных, но раздробленных государств, отсутствием деспотических монархических империй, ярко выраженным кастовым характером социального устройства, существованием сельских общин как незыблемого фундамента индийского общества. Для развития индийского общества исключительно важное значение имела наука. В Индии уже на заре ее истории научное знание превратилось в самостоятельную часть духовной культуры и в немалой степени определило необычайно высокий уровень древнеиндийской философии. Но, как и древнекитайская философия, философия Древней Индии в лучшем случае слабо развивала общие представления об онтологии. Основное внимание уделялось проблеме соотношения природы и человека. Такой двойственный характер древнеиндийского способа познания мира обусловил дуализм философских течений, но иного плана, чем в Древнем Китае: элементы дуализма сохраняются также в материалистических философских течениях древнеиндийской философии.

Такой фон определил и специфику развития взглядов на пространство как в древнекитайской, так и в древнеиндийской философии и науке.

В первых философских системах, возникших на основе сочетания мифологического мировоззрения и социально-политической практики Китая, пространство трактуется как все находящееся между небом и землей. Так, «И-цзин» («Книга перемен») в качестве основной содержит идею о противопоставлении темного и светлого начал. Противоречия между главными началами – небом и землей – породили все сущее, которое структурируется в соответствии с взаимодействием между темным и светлым началами низшего ранга, структурируя тем самым и пространство.

В более поздних философских системах представления о пространстве можно выделить только у стихийных материалистов, и прежде всего – у поздних моистов (последователей учения Мо Цзы, одного из основоположников древнекитайского материализма). Идеалистические философские системы носили в первую очередь социально-этический характер и вопросы, связанные со структурой мира, трактовали настолько общо, что выделить из них какие-либо представления о пространстве практически невозможно. Материализм, оставаясь также преимущественно социально-этическим, тем не менее уделял большее внимание проблемам устройства мироздания, поднимаясь порой до диалектических обобщений. Наиболее отчетливо это проявилось, пожалуй, именно у поздних моистов.

В основном источнике моистов – «Каноне», дается определение «стародавнему», которое можно трактовать как время, и «вселенной» – пространству. «Стародавнее – это соединение разных периодов», охватывающее древность и современность, утро и вечер. «Вселенная – совокупность различных мест», она «включает в себя восток, запад, юг и север». Другими словами, «стародавнее» и «вселенная» существуют в реальном времени и пространстве, что выражает целое и общее. Связь между «стародавним» и реальным временем, между «вселенной» и реальным пространством есть связь между целым и частью. Значит, делается вывод, «стародавнее» – это время, а «вселенная» – пространство.

Интересно то, что поздние монеты указывали на связь между временем и пространством. «Перемещения во вселенной происходят в стародавнем», – говорится в «Каноне». «Близкое и далекое – длинны, начальное и последующее – стародавни. Поэтому при движении по длинному необходимо стародавнее». Иными словами, пространство, в котором движутся предметы, тянется от близкого к далекому, а потому время течет от настоящего к будущему. В известном смысле это

указывает на диалектическое единство времени и пространства при движении предметов.

Поздние моисты подняли вопрос о конечности и бесконечности пространства и времени. «Канон» утверждает, что «стародавнее исчерпаемо и неисчерпаемо». Это утверждение трактуется следующим образом. В процессе движения единичного предмета время конечно, но в процессе движения всех предметов в целом время бесконечно, и, таким образом, конечное и бесконечное время едино. В пространстве «какая-либо (площадь), за пределами которой нельзя поместить чи, исчерпаема; (площадь), за пределами которой нет (пространства), в котором было бы нельзя поместить чи, неисчерпаема». То есть определенная площадь пространства, за которой уже нельзя поместить чи, конечна, но в то же время, если за ней нет такого пространства, она представляет собой бесконечность.

Завершая рассказ о древнекитайских взглядах на пространство, скажем несколько слов о наиболее распространенной философской системе – даосизме. Дао – многогранное понятие. Это абсолютная пустота, источник происхождения мира и всеобщий мировой закон. Как утверждал основоположник даосизма Лао Цзы, «дао постоянно пребывает в недеянии, но нет ничего, чего бы оно не делало»; «дао никто не приказывает, оно постоянно остается само собой»; «переход в противоположность – путь движения дао, слабость – (метод) действия дао»; оно «одиноко стоит, но не меняется, ходит повсюду, но не устает»; «любит приносить пользу всем существам и не борется (с ними) за выгоду». И пространство, таким образом, пронизано дао и образовано им.

Это представление явно выражено во взглядах последователя даосизма Чжуан Цзы, который, разрешая противоречие между нематериальностью дао и возможностью образования из него материального мира, ввел представление о едином материальном начале – ци, подчиняющемся дао. Он утверждал, что «великая пустота не может не содержать изначальное ци. Изначальное ци не может не собираться и образовывать вещи. Все сущее не может не распыляться и создавать великую пустоту, которая находится в постоянном круговороте... Скопления изначального ци распыляются по великой пустоте... Если иметь в виду, что великая пустота и есть существование изначального ци, то, следовательно, небытия не существует (там же)». «Хотя великая пустота лишена формы, но она заполнена /мельчайшими частицами/ изначального ци», которое «то вдруг собирается в одно место, то вдруг растекается по пространству, так что его изменениям нет предела». Но

сама пустота – «это телесность изначального ци», которое «распыляется до беспредельности». Таким образом, пространство определяется как часть пустоты, образованная ци. Иными словами, мы имеем континуальную концепцию пространства.

Итак, анализируя древнекитайские философские системы в контексте выявления представлений о пространстве, можно сказать, что последнее характеризуется как континуальное и одновременно конечное и бесконечное, активно участвующее в образовании структуры и само образованное этой структурой. По сравнению с древнегреческими представлениями о пространстве такой взгляд более диалектичен и более... туманен, сложен для восприятия и интерпретации и содержит в себе гораздо больше возможностей для дальнейшего развития и сопоставления с современными концепциями пространства, переключаясь с ними в наиболее фундаментальных моментах. Конечно, здесь нам может быть брошен упрек в переносе современных взглядов на древние системы, в интерпретации их с современных позиций, но, право, так и напрашивается сравнение древнекитайских представлений с современными в контексте представлений о формировании структуры пространства и самого пространства виртуальными возмущениями вакуума (существование – несуществование материального ци в пустоте, являющегося и частью пустоты, и ее порождающим, и ее порождением, ибо пустота – «телесность изначального ци»).

В древнеиндийских философских системах представления о пространстве не менее интересны и загадочны, чем древнекитайские. Для древнеиндийской философии характерно развитие различных философских школ в рамках двух больших групп. Это ортодоксальные школы, или веданты, то есть признающие авторитет вед, и неортодоксальные, не признающие авторитета вед.

Один из источников веданты, книга «Атмабадха», сравнивает Вишну с пространством: «...Подобен пространству вездесущий владыка чувств, соединенный с различными упадхи: /как/ различно оно, /так и/ он бывает словно различным; /как/ исчезает оно, /так и/ он становится единым». Можно видеть отсюда, что пространство в веданте выступает как дуалистическая сущность. С одной стороны, оно бесконечно и нечувственно, структура его определяется материальными процессами и телами, и само оно в свою очередь определяет их. С другой стороны, пространство может принимать конечные чувственно воспринимаемые формы, имеющие временные границы, и в общем случае эти локальные формы пространства имеют хронологические рамки.

Неортодоксальное учение джайнизма трактует пространство как неживую материальную субстанцию – акашу. Акаша проявляется в качестве лока-акаши – пространства, в пределах которого существует материальный мир, и апока-акаши – пространства за пределами мира, которое вообще не может быть заполнено, это своего рода «абсолютная пустота». В то же время пространство предметно непредставимо и не познается чувствами. В данном случае тоже можно говорить о дуалистическом характере представлений о пространстве. Видимо, это свойственно подавляющему большинству древнеиндийских философских систем.

Подведем итоги второго этапа развития представлений о пространстве, связанного с развитием различных философских систем древности. Эти представления в большей степени формировались в процессе критики мифологической картины мира, сохраняя одновременно основные идеи последней, но уже демифологизированные, и в меньшей степени – под влиянием формирующегося научного познания. Данные особенности и определили специфические черты: континуальность пространства и его конечность в большинстве философских систем; дуалистический характер пространства (своеобразные мега- и микропространства); обусловленность структуры пространства материальными телами и процессами, с одной стороны, и обусловленность самых материальных тел и процессов пространством – с другой. Несколько особняком стоят представления о квантованности пространства. В рамках философских систем, имеющих материалистический характер и в своей мировоззренческой части опирающихся на обыденный опыт, на эмпирические основания, их обобщение, появляются представления о бесконечном, абсолютном пустом пространстве, изотропном и однородном.

Таким образом, сформировались две противоположные тенденции в развитии представлений о пространстве, которые в отдельных моментах были синтезированы в представлениях атомистов. Интересно то, что все представления о пространстве в древности были социализированными. Этот момент мы специально не выделяли, но из сказанного можно видеть, что социальные представления вносят свою лепту в представления о пространстве: структура пространства определяется и социальными процессами, социальной структурой общества. В свою очередь, сами эти процессы и их структура определяются пространством. Социализированное пространство – это пространство, наполненное и упорядоченное богами, героями и людьми,

человеческими общинами и государствами, городами, планировка которых отражает еще мифологические взгляды на пространство с выделенностью его центра и кругами постижения мира и совершения поступков.

В средневековой Европе, как мы уже говорили, господствовали аристотелевские взгляды на пространство, начало разрушению которых было положено развитием философии и науки в эпоху Возрождения. На Востоке, в индокитайском регионе, в средние века сохранялись и практически не развивались те представления, которые сложились в древности. Появление на Ближнем Востоке ислама вначале привело к распространению там представлений о пространстве, характерных для греческой науки, но затем в науке ислама были развиты свои оригинальные исследования, внесшие значительные изменения в аристотелевскую картину мира.

В начальный период космогония ислама бедна и в основном заимствована из Библии. Согласно Корану, мир был сотворен Аллахом за шесть дней. Были созданы семь небесных сводов, небесные светила и земля, разложенная ковром и укрепленная горами. Земля соединяется с небесами невидимой лестницей, служащей для передвижения ангелов. Под землей находится преисподняя.

С развитием ислама происходит усложнение картины мира, в которой пространство уже социализируется: если вначале его описание носит натурфилософский характер, то в более поздних интерпретациях оно наполняется людьми на земле, ангелами на небесных сводах, душами праведников и душами грешников в преисподней. При этом рай, бесконечный, но ограниченный, помещается под океаном, расположенным, в свою очередь, над седьмым небесным сводом, и делится на восемь ярусов. Земля делится на семь этажей, включающих и разные этажи преисподней, причем чем ниже этаж, тем больше он похож на ад, который также представляется бесконечным, но ограниченным.

В окончательном варианте исламская космогония делит весь мир на 29 ярусов-этажей. Каждый ярус-этаж выполняет свои социальные функции, связанные с распределением людей и их душ в соответствии с их действиями и поступками. Зафиксированное в Коране квазирациональное объяснение происхождения структурированного пространства мира из материи, которая под взглядом Аллаха превратилась в воду, вода – в пар, а сгустившийся пар – в ярусы-этажи, отошло в конечном счете далеко на задний план. Пространство исламского мира было полностью мистифицировано и социализировано.

В целом развитие теологии привело к понятию бесконечности пространства, но бесконечность эта была отказом от протяженности пространства и его реальности. Реальность была приписана лишь непротяженным сущностям.

В средние века представления о пространстве подчинялись эсхатологическим критериям. Пространство описывалось прежде всего религиозными и моральными характеристиками: низ – ад, верх – обитель бога, восток – рай, запад – место светопредставления и страшного суда. Такие представления связаны с идеями божественного творения мира и создания пространства в акте этого творения, а также с идеей активной роли непространственной субстанции в генезисе пространства. Так, в XIII веке сочинения Фомы Аквинского изменили направленность христианской теологии: отказавшись от идей Платона, протерпевших значительное изменение за прошедшее тысячелетие, религия нашла опору в философии Аристотеля, которая приобрела религиозный характер. Это же произошло и с Аристотелевой космологией. «Божественная комедия» Данте дает нам наиболее развернутое и поэтизированное изложение христианской космологии, безраздельно господствовавшей вплоть до XV века. Но в космологии Данте в равной степени смешиваются и религиозные библейские традиции, и натурфилософские традиции Аристотеля и неоплатоников.

Структура пространства у Данте (девять кругов ада, два уступа предчистилища, долина перед чистилищем и семь кругов чистилища, земной рай, девять кругов-небес рая небесного и его десятый, высший, уровень – эмпирей) определяется не активностью непротяженной сущности бытия, а необходимостью расстановки душ-образов людей в соответствии с их поступками в земном бытии. Эта структура чувственно познаваема и многомерна. Тем самым Данте в определенной степени фиксирует начало перехода от представлений о пространстве как эсхатологическом двумерии с избранными направлениями (верх – низ как рай – ад) к многомерию, имеющему фазовый характер и чувственно познаваемому.

В эпоху Возрождения происходит секуляризация представлений о пространстве: перевод его из «сотворенных» свойств мира в субстанциональные свойства. Появляется понятие абстрактного пространства, лишенного тел и креационистской теоцентрической системы отсчета. Оно представляется однородным и потому позволяющим наблюдателям создавать равноправные системы отсчета. Научная революция XVII века, подготовленная развитием культуры и науки в эпоху Воз-

рождения, привела к тому, что абстрактное абсолютное пространство «наполняется» материальными процессами и телами, а соответствующее понятие включается в механистическую картину мира, формирование которой в явном виде началось с исследований Галилея. Но сами эти исследования были подготовлены философскими системами Ренессанса и постренессанса, выросшими из критики аристотелизма и классической теологии.

Значительный вклад в формирование новой картины мира внес один из крупнейших философов раннего Возрождения Николай Кузанский (Кузанец), который помимо прочего наметил новую, предкоперниканскую космологию. Мы останавливаемся на учении Кузанца потому, что оно мало известно широкому кругу читателей, да и специалисты стали обращаться к творческому наследию этого человека лишь недавно. Николай Кузанский оказал очень сильное влияние на развитие научного мышления XVI–XVII веков прежде всего как философ. Его сочинения во многом подготовили почву, на которой выросла наука постренессанса и Нового времени.

При построении своей системы Николай Кузанский обращался к огромному философскому наследию, и прежде всего к античным авторам. Один из основных принципов его философской системы, принцип «все во всем», является отражением идеи Анаксагора о том, что каждая вещь содержит в себе все остальные вещи. Однако прежде всего Кузанец находился под влиянием идей Платона, что в период господства аристотелизма считалось ересью. В силу своего официального положения (Николай Кузанский был священником и получил сан кардинала) он постоянно обращался и к средневековой схоластике, прежде всего к работам теолога-классика Фомы Аквинского, но переосмысливал теологические представления в направлениях, не соответствующих официальным установкам. Весь дух сочинений Кузанца противоречит учению Фомы Аквинского. Косвенная критика томизма заключается в критике Аристотеля, и в частности в выходе за пределы аристотелевской космологии и физики.

Космология Николая Кузанского утверждает тождественность законов небесного и земного мира, отсутствие центра вселенной и ее бесконечность, что явно несовместимо с теологией и идет дальше античной философии, большинство систем которой утверждали пространственную конечность вселенной. Такие космологические принципы построены на основе введения представлений о взаимодействии

максимума и минимума. Последнее является центральной идеей и методологическим принципом философии Николая Кузанского.

Согласно учению Кузанца, абсолютный максимум – бог (а что еще оставалось утверждать священнослужителю?), но максимум – это и вселенная, пребывающая во всех вещах, единая и соединяющая противоположности до их совпадения. Однако вселенная не совпадает с богом, она оказывается не абсолютным максимумом, так как ее бытие конкретизируется, ограничивается в конечных вещах. Здесь имеется в виду не конечность мира в пространстве, заключенность вселенной в определенных границах, но конкретизация абсолютного максимума через вселенную в многообразии вещей земного мира. По мнению Кузанца, «вселенная есть сфера, центр которой всюду, а окружность нигде». Таким образом, вечно движущаяся вселенная не имеет ни центра, ни окружающей его границы, ни верха, ни низа, она однородна и во всех ее частях действуют одни и те же законы, все части вселенной равноценны.

В контексте нашего рассказа представляет интерес такое суждение Кузанца: «...Соразмерность есть место, сфера или область формы и... материя, в свою очередь, есть место соразмерности». Таким образом, мера конечного есть бесконечное. И поскольку понятие места связывалось в те времена с понятием пространства, то последнее предстает перед нами материальным и конечно-бесконечным, определяемым распределением материальных тел. В данном случае мы видим продолжение античной диалектики во взглядах на пространство, но в виде не прямого заимствования, а их критической переработки. Джордано Бруно продолжил эту линию, утвердив представления о бесконечности пространства, его изотропности и однородности, но... потеряв диалектическую связь с материальной обусловленностью структуры пространства, которое, таким образом, превратилось во вместилище мира.

В начальный период Нового времени представления о пространстве как о вместилище мира продолжают развиваться и закрепляться. Так, Фрэнсис Бэкон, заимствуя из атомистической традиции Демокрита общий принцип дискретности сущностной основы мира и дискутируя с античными мыслителями, углубляет представления о пустом пространстве. В работе «О достоинстве и приумножении наук» он утверждает (вслед за Священным писанием) тезис о сотворенности пространства Богом. В противовес платоникам Бэкон заявляет, что сотворение пространства – это первый божественный акт творения мира. Но здесь лишь отдана дань времени. Как известно, главное достижение

английского материалиста Фрэнсиса Бэкона – его обоснование опытового происхождения наук. Отстаивая и обосновывая ведущую роль опыта в научном познании, в работе «О началах и истоках» он развивает представления о пустом безграничном пространстве, прежде всего на основе анализа накопленных к тому времени наблюдений и опытных данных, и пишет о «вложенности» в пространство как во вместительнице материальных тел и процессов.

Но оставим пока в стороне рассуждения о философских представлениях о пространстве и посмотрим, как определяется пространство в галилеевской картине мира – первой картине мира, основанной не только на собственно философско-мировоззренческих взглядах, но и на результатах научных исследований, в том числе и экспериментов. Такой экскурс необходим потому, что галилеевская трактовка пространства в дальнейшем наложилась на развитие всех философских и естественнонаучных концепций пространства, либо включаясь в них прямо и непосредственно, либо после критического переосмысления и переработки.

В механике Галилея движение предоставленного самому себе тела происходит по окружности (здесь мы видим отголоски аристотелевских представлений о естественном движении в подлунном мире). В силу этого тело, предоставленное самому себе, не уходит в бесконечность. Данный тезис вытекает из требования гармонии мира – основополагающего методологического принципа сочинения Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира – птоломеевой и коперниковой». Но прежде всего Галилей здесь доказывает трехмерность пространства, и это доказательство определенного числа размерности пространства – первое в науке.

Отправным пунктом доказательства являются ссылки на представления Аристотеля, Пифагора и Платона. Мир трехмерен, поскольку он – «тело, обладающее длиной, шириной и глубиной», и не более того, и поэтому он совершенен (Аристотель), поэтому трехмерно пространство. Но, критически рассматривая взгляды Пифагора и Платона, Галилей приходит к мысли провести геометрическое доказательство трехмерности. Доказательство это заключается в рассуждениях о кратчайшей прямой между двумя точками, двумя параллельными линиями с использованием понятия прямого угла, посредством чего строится плоская система – двумерное пространство, и введением понятия высоты, завершающим определение трехмерности пространства. И поскольку от одной точки можно провести только три прямые, образу-

щие между собой прямые углы, постольку пространство имеет не более трех измерений.

Следующий шаг Галилея связан с оправданием однородности пространства, выражаемой в равноправии действия законов механики в любой его точке. Говоря современным языком, поскольку физические законы инвариантны относительно систем отсчета, движущихся равномерно и прямолинейно, постольку пространство однородно. Для доказательства этого Галилей предлагает мысленный эксперимент: в движущемся корабле наблюдают за движением мелких животных, насекомых, рыб, за падением капель воды (движение равномерное и прямолинейное, без качки). Они оказываются точно такими же, как и в неподвижном, т.е. механические движения независимы от системы отсчета, следовательно, независимы от движения и соответствующие законы. Таким образом, искривленное пространство является однородным.

На основе разработки математической концепции неделимого и переноса ее в физику Галилей делает вывод о существовании пустого пространства. «Если мы разделим тело на конечное число частей, — пишет он, — то, без сомнения, не сможем получить из них тела, которое занимало бы объем, превышающий первоначальный, без того, чтобы между частями не образовалось пустого пространства, то есть такого, которое не заполнено веществом данного тела, но если допустить предельное и крайнее разложение тела на лишённые величины и бесчисленные первичные составляющие, то можно представить себе такие составляющие растянутыми на огромное пространство путем включения не конечных пустых пространств, а только бесконечно многих пустот, лишённых величины».

Таким образом, пространство, по мнению Галилея, — искривленное замкнутое пустоеместилище мира, своеобразная совокупность траекторий тел, но не их объемов и не расстояний между ними. Иными словами, структура пространства характеризуется равномерными круговыми движениями. Но проблема континуальности явилась для Галилея камнем преткновения. Без ее решения нельзя было создать теоретический фундамент для механики, и поэтому к вопросу о непрерывности Галилей возвращался постоянно. Эта проблема стояла также в центре внимания французского математика, физика и философа XVII века Рене Декарта.

Декарт, в противовес Аристотелю, утверждает, что в природе действует единая телесная субстанция, не нуждающаяся для своего суще-

ствования ни в чем другом. Совершенно умозрительно он выводит, что объемность — единственно абсолютно всеобщее неизменное свойство материи, ее сущность. Это, фактически, заимствовано у схоластов. Из отождествления телесности с протяженностью, выражающей объемность, следует отрицание существования пустоты. Кроме того, Декарт ссылается на «самоочевидную» идею: у ничто нет свойств, значит, ничто (пустоты) нет. Таким образом, Декарт геометризует материальное, отождествляя его с протяженностью. Пространство «превращается» в фундаментальный атрибут материи и таким образом абсолютизируется окончательно.

Телесность, с точки зрения Декарта, неограниченна в своей протяженности, поэтому пространство бесконечно. Кроме того, поскольку не могло быть всеобщей бестелесной пустоты для создания мира, постольку мир, а следовательно, и пространство вечны. Но какова же структура пространства? Видимо, она определяется взаимным расположением примыкающих друг к другу материальных тел, не имеющих пор. Однако это только первый, совершенно очевидный вывод. Декарт идет дальше и глубже: структура пространства определяется еще и движением материальных тел.

Действительно, если пустоты нет и все частицы примыкают друг к другу, то движение одной из них вызывает движение всех других. В итоге «нигде нет ничего неизменного», всюду царит вечное изменение. Это приводит к изменению плотности и появлению пластичности материи, т. е. возникают локальные возмущения ее, а следовательно, и протяженности — пространства. Пространство, таким образом, анизотропно и неоднородно. Возникающие завихрения перемещающихся масс определяют криволинейный характер геометрии движения материальных тел, в частности планет.

Известно влияние идей Декарта на Эйнштейна, и в общей теории относительности, как мы увидим далее, приведенный здесь тезис Декарта получил соответствующую интерпретацию.

Декартовской концепции пространства противостоит ньютоновская. Остро полемизируя с картезианством, Исаак Ньютон построил концепцию абсолютного пустого пространства — вместилища мира, завершив тем самым развитие концепции, основы которой были заложены Демокритом. Главным упреком и предметом дискуссий было то, что картезианцы не обращаются в должной мере к опыту, конструируют гипотезы для объяснения мира, опираясь только на умозрительные построения, в частности, на упоминавшуюся гипотезу вихрей.

Ньютон выступает и против «скрытых качеств», которые никак не выявляются в практическом опыте.

Критика картезианства и обращение к опыту приводят Ньютона к разработке собственной концепции пустого пространства, оказавшейся, с одной стороны, глубоко не соответствующей реальности, но, с другой стороны, логически непротиворечивой. Однако дадим слово самому Ньютону:

«Время, пространство, место и движение составляют понятия общеизвестные. Однако необходимо заметить, что эти понятия обыкновенно относятся к тому, что постигается нашими чувствами. Отсюда происходят некоторые неправильные суждения, для устранения которых необходимо вышеприведенные понятия разделить на абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные.

1. Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся, или обыденное, время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год.

II. Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.

Относительное [пространство] есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное: так, например, протяжение пространств подземного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно земли. По виду и величине абсолютное и относительное пространства одинаковы, но численно не всегда остаются одинаковыми. Так, например, если рассматривать Землю подвижной, то пространство нашего воздуха, которое по отношению к Земле остается всегда одним и тем же, будет составлять то одну часть пространства абсолютного, то другую, смотря по тому, куда воздух перешел, и, следовательно, абсолютное пространство непрерывно меняется,

III. Место есть часть пространства, занимаемая телом и по отношению к пространству бывает или абсолютным, или относительным. Я говорю часть пространства, а не положение тела и не объемлющая его поверхность. Для равнообъемных тел места равны, поверхности же от несходства формулы тел могут быть и неравными. Положение, правильно выражаясь, не имеет величины, и оно само по себе не есть место, а принадлежащее месту свойство. Движение целого то же самое, что совокупность движений частей его, т. е. перемещение целого из его места то же самое, что совокупность перемещений его частей из их мест. Поэтому место целого то же самое, что совокупность мест его частей, и, следовательно, оно целиком внутри всего тела.

IV. Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, относительное – из относительного в относительном же. Так, на корабле, идущем под парусами, относительное место тела есть та часть корабля, в которой тело находится, например та часть трюма, которая заполнена телом и которая, следовательно, движется вместе с кораблем, Относительный покой есть пребывание тела в той же самой области корабля или в той же самой части его трюма.

Истинный покой есть пребывание тела в той же самой части того неподвижного пространства, в котором движется корабль со всем в нем находящимся. Таким образом, если бы Земля на самом деле покоилась, то тело, которое по отношению к кораблю находится в покое, двигалось бы в действительности с той абсолютной скоростью, с какой корабль идет относительно Земли. Если же и сама Земля движется, то истинное абсолютное движение тела найдется по истинному движению Земли в неподвижном пространстве и по относительным движениям корабля по отношению к Земле и тела по отношению к кораблю».

Мы привели такую большую цитату из «Математических начал натуральной философии» Ньютона вполне сознательно, ибо в ней отражена фактически вся суть ньютоновской концепции пространства и времени, на основе которой строилась физическая картина мира вплоть до конца XIX века, когда она подверглась ударам со стороны развивающейся электродинамики и была разрушена в начале XX столетия в процессе становления и развития теории относительности (специальной и общей) и квантовой механики. Очевидность, кажущаяся ясность и однозначность концепции Ньютона вкупе с основными законами движения, сформулированными им на основе этой концепции, которая послужила философской предпосылкой, и обеспечили

длительное господство механицизма, несмотря на критику, которой он подвергался со стороны Готфрида Лейбница, отстаивавшего континуальность пространства.

Лейбниц критиковал субстанциализацию и вообще абсолютизацию пространства, свойственные Ньютону, превратившему пространство во внетелесную и самостоятельную сущность. Лейбниц был убежден, что никакого «чистого» пространства «самого по себе» нет, а значит, нет и пустоты. Он характеризовал пространство как рядоположенность явлений или отношение их сосуществования, но вступал в противоречие сам с собой, пытаясь выяснить, насколько эти явления реальны. Иногда он утверждал их реальность, иногда считал их эфемерными, а пространство – застывшим, и отстаивал в конечном счете идею зависимости пространства от духовных сущностей, выступая с позиций идеализма. Это не могло найти положительного отклика у тогдашних естествоиспытателей, уверившихся, что бог, сотворив все сущее, предоставил ему право и возможность развиваться в соответствии с естественными законами, не вмешиваясь в ход этого развития. Сам миф о сотворении мира виделся им вполне материальным практически во всем его объеме.

Несмотря на усиленные попытки философов разрешить противоречия между ньютоновской и лейбницевской трактовками пространства, материализовав духовную субстанциональность относительного континуального пространства Лейбница, непротиворечивую философскую трактовку пространства, допускающую физическую либо какую-то другую естественнонаучную конкретизацию и интерпретацию, создать не удалось. Так, например, французский философ-просветитель Этьенн Кондильяк сформулировал концепцию бесконечного вечного континуального пространства, одновременно свободного для материальных тел и заполненного субстанцией, оказывающей сопротивление телам в их движении. Но противоречивость, связанную с необходимостью объяснения непрерывного движения материального тела по инерции в сопротивляющейся среде, он так и не преодолел.

Физики, склонные к идеям картезианства и к объяснению некоторых явлений (теплоты, например) с помощью субстанций, ввели понятие эфира как среды, не оказывающей сопротивления движущемуся телу. Эта среда позволила объяснить им ряд явлений из оптики, термодинамики и других областей, но привела, в свою очередь, к новым противоречиям. Время, когда стало возможным объединить пространство и материю, наступило лишь в XX веке. А пока, несмотря на

все критические атаки, в физике господствовала идея ньютоновского пространства.

Однако эта идея не погасила борьбы, развернувшейся вокруг попыток объяснить пространство, его структуру, природу и свойства. И несмотря на закрепившиеся в науке представления об абсолютном пустом однородном изотропном пространстве –местилище мира, идеи континуальности пространства, его анизотропии, относительности и зависимости его структуры от материи, а структуры материи, мира – от структуры пространства, идеи, которые берут свое начало еще в мифологических представлениях о пространстве, продолжают существовать, вспыхивая ярким светом то в одной философской системе, то в другой.

§ 2. Эфир и пространство

Фундаментальные исследования в физике всегда были связаны с проблемами пространства и времени. Даже в классический период развития физики, когда, казалось бы, господствовало ньютоновское видение пространства как трехмерного бесструктурногоместилища вещей и процессов, исследователи, решая проблему распространения сигналов, пытались «оструктурировать» пространство. Да и «очевидная» трехмерность пространства требовала более глубокого обоснования своей природы, чем просто ссылки на теоретическое описание реальности, вполне удовлетворительное в своем трехмерном варианте. Введение представлений об эфире – один из вариантов такого «оструктурирования», которое вполне согласовывалось с трехмерностью, однако вызвало значительные трудности в интерпретации ряда физических проблем, так что в итоге пришлось пересмотреть основания самой физики. Такой пересмотр привел к созданию специальной теории относительности (СТО).

Создание СТО «сняло» проблему эфира, попросту отказав ему в праве на существование. И до сих пор любые попытки ввести в научный обиход представления об эфире в какой бы то ни было форме считаются, по меньшей мере, антинаучными, подобно попыткам разработать вечный двигатель. Но, тем не менее, эти попытки повторяются вновь и вновь. Чем же так привлекательна идея эфира в любых ее ипостасях? Здесь, на наш взгляд, можно указать на несколько моментов, определяющих у современных исследователей интерес к нему. Прежде

всего – его очевидная субстанциональность и определенная наглядность. Кроме того, эфир можно попытаться представить как некую первосубстанцию, первоматерию. Но основное, конечно, то, что создание непротиворечивой модели эфира, по мнению сторонников этого направления, позволит не только переформулировать теорию относительности, а, возможно, и отказаться от нее, создав теорию более фундаментальную и более «физическую». Очевидно, что все эти положения требуют дополнительных разъяснений.

Действительно, в борьбе идей вокруг эфира забывают об одном важном моменте: есть эфир и ... эфир. В физике понятие эфира получило гражданство с развитием оптики, в процессе противоборства корпускулярной и волновой концепций света. Для корпускулярной теории камнем преткновения оказалось открытое в 1665 г. явление дифракции. В свою очередь, волновая теория того времени не могла объяснить прямолинейного распространения света в пустоте.

Известно, что волновой процесс представляет собой распространение колебаний в какой-либо среде. Гук, современник Ньютона, сторонника и одного из авторов корпускулярной теории, предположил, что и свет распространяется в некой среде. Эту идею поддержал Гюйгенс, который и дал этой среде название «эфир». Свой труд – «Трактат о свете» – он начинает с критики теорий Декарта, Гримальди и Ньютона. Отмечая, что *«доказательства, приводимые в этом трактате, отнюдь не обладают той же достоверностью, как геометрические доказательства»* (выделено нами – Авт.), и даже весьма сильно от них отличаются, так как в то время, как геометры доказывают свои предложения с помощью достоверных и неоспоримых принципов, в данном случае принципы подтверждаются при помощи получаемых из них выводов. Природа изучаемого вопроса не позволяет, чтобы это происходило иначе». Гюйгенс утверждает, что в принципе для высокой степени правдоподобия достаточно того, что «вещи, доказанные с помощью... предполагаемых принципов, совершенно согласуются с явлениями, обнаруживаемыми на опыте, особенно когда таких опытов много и, что еще важнее, главным образом, когда открываются и предвидятся новые явления, вытекающие из применяемых гипотез, и оказывается, что успех опыта в этом отношении соответствует нашему ожиданию». Этот познавательный принцип, к обсуждению которого мы еще вернемся, и послужил методологической основой, определившей обоснование существования эфира и определение его свойств. Если свет состоит из корпускул, то как он может распростра-

няться прямолинейно, не испытывая отклонений, особенно в телах? И как это может быть, чтобы два пересекающихся пучка лучей, то есть два потока частиц, не возмущали друг друга путем взаимных соударений? Поскольку свет возникает, например, от огня и пламени – от тел, находящихся в очень быстром движении, этот же свет, сконцентрированный зеркалом, способен сжигать предметы, то есть разъединять их на части, постольку «нельзя сомневаться в том, что свет состоит в движении какого-то вещества». Но что это за вещество?

Ответ на этот вопрос Гюйгенс искал, сопоставляя движения звука и света, определяя, в каких отношениях они похожи друг на друга и в чем они расходятся. Показав таким образом, что веществом, движением которого мог бы быть свет, не может быть воздух, так как свет распространяется и в безвоздушном пространстве, Гюйгенс утверждает, что это должно быть некой эфирной материей – «утонченной материей частиц». Такие частицы, по его мнению, должны «сколь угодно приближаться к совершенной твердости и сколь угодно быстро восстанавливать свою форму». Интерес представляет его замечание, что частицы эфира, несмотря на свою малость, могут состоять из еще более мелких частиц и благодаря своей упругости обеспечивать распространению света одну и ту же скорость. Эта материя заполняет всю вселенную, проникает во все тела, чрезвычайно разрежена, так что она не проявляет свойств тяжести, но очень жесткая и упругая. Подобную идею выдвигал и Декарт, но Гюйгенс пошел значительно дальше. Он утверждал, что такие свойства вполне обеспечивают механизм распространения света – от частицы к частице через посредство вторичных сферических волн. Это волнообразное движение, вызываемое столь малыми частицами и движениями, способно распространяться на большие расстояния, потому что «бесконечное число волн, исходящих, правда, из различных частичек светящегося тела, на большом расстоянии от него соединяются для нашего ощущения только в одну волну, которая, следовательно, и должна обладать достаточной силой, чтобы быть воспринятой». Интересен тот факт, что именно это и представляет собой известный принцип построения огибающей волны, вошедший во все учебники физики как принцип Гюйгенса. Он истинен, несмотря на то, что основания для его формулировки считаются ложными. Именно с помощью этого принципа Гюйгенс блестяще объяснил частичное отражение, преломление и полное внутреннее отражение, корпускулярный подход к которым вынуждал создавать крайне сложные теории с массой дополнительных гипотез.

Объяснение и экспериментальное подтверждение двойного лучепреломления в кварце явилось триумфом теории Гюйгенса. Однако считая колебания эфира продольными, хотя Гук уже выдвигал предположение о поперечности световых волн, Гюйгенс не смог объяснить ряд оптических явлений и отметил, что «по-видимому, нужно принять еще другие предположения сверх сделанных мною, хотя последние и сохраняют все свое правдоподобие, будучи подтвержденными столькими доказательствами».

Дальнейшее развитие представления о физическом эфире получили, в частности и, прежде всего, в исследованиях Френеля, экспериментально обосновавшего волновой характер света и слившего воедино три принципа волновой теории: принцип элементарных волн, принцип огибающей и принцип интерференции. В отличие от геометризированной оптики Гюйгенса Френель придал распространению света физический смысл, используя для описания этого процесса понятие импульса элементарной световой волны. Тем самым было окончательно согласовано прямолинейное распространение света с его волновым механизмом. При изучении поляризации Френель пришел к выводу, что световая волна совершает поперечные колебания, и этим самым поставил перед эфирной гипотезой света неразрешимую проблему: из поперечности колебаний следует, что эфир, будучи тончайшим и невесомым, должен в то же время быть и наитвердейшим, ибо только твердые тела передают поперечные колебания. Пытаясь разрешить эту проблему, Френель построил свою модель эфира, согласно которой эфир, заполняя всю вселенную, пронизывает и все тела, которые вызывают изменение механических свойств и характеристик эфира. Из-за этих изменений при переходе упругой волны возбуждения в эфире из свободного эфира в эфир, содержащийся в веществе, на поверхности раздела часть волны проникает в вещество, а часть – поворачивает обратно. Этим обосновывалось и явление частичного отражения, долгое время бывшее непонятным физикам. Скорость распространения волновых колебаний в среде зависит от длины волны, а при заданной длине волны она тем меньше, чем более преломляющей является среда. В результате было закончено построение волновой оптики, объяснившей все известные тогда световые явления на основе гипотезы о светоносном эфире. И хотя и главное противоречие в свойствах эфира не было устранено, представления об эфире утвердились в физике до конца XIX в.

Но не только оптические исследования в физике определяли интерес к эфиру. Весь стиль мышления того времени фактически требовал развития представлений о нем. В значительной мере он был обусловлен философскими и методологическими взглядами, оказывающими воздействие на развитие науки. Здесь можно выделить два интересующих нас момента: во-первых, проблема эфира связывалась, как мы уже отмечали, с проблемой структуры пространства, во-вторых, идея эфира могла способствовать решению проблем первовещества и структуры Вселенной.

В первом случае существовали два варианта решения. Первый, который в данном случае менее интересен, но к его анализу нам придется возвратиться при обсуждении противостояния идеи эфира и СТО, «геометризации» и «физикализации» пространства, сводился к отождествлению пространства и пустоты, в которой двигаются атомы (корпускулярно-пустотный вариант). Казалось, что успех ньютоновской механики, основанной в том числе и на идее абсолютного пространства, обосновал истинность такого решения. Отождествление пространства с пустотой казалось очевидным и из самых общих соображений. Действительно, пространство существует везде, в то время как вещественные предметы находятся лишь в отдельных областях пространства, которые отделяют эти предметы друг от друга и позволяют их идентифицировать и дифференцировать. Пространство от материи, таким образом, не зависит, как не зависит отсутствие материи (пустота) от ее наличия. Пространство не зависит и от времени, потому как благодаря отсутствию материальной сущности не имеет качеств, способных изменяться. Само движение возможно только потому, что существует пустое пространство. Ньютон полагал, что он доказал существование такого пространства возникновением центробежных сил при вращательном движении, которое является абсолютным. А абсолютное движение возможно в абсолютном пространстве. Таким образом, пространство предстает перед нами как необходимое условие существования материи, не зависит от последней, является пустым и абсолютным. Это пространство, как и движение в нем, можно с легкостью «геометризовать», что и было сделано Ньютоном и его последователями. Потому, видимо, «Математические начала натуральной философии» так напоминают геометрический трактат. Казалось бы, в таком пространстве и в такой физике эфиру места нет.

Второй вариант связан с интерпретацией пространства в контексте расположения друг относительно друга реальных объектов, что идет

еще от Аристотеля. В таком пространстве нет места пустоте, оно объединено с веществом. Наиболее отчетливо это выражено в картезианской философии и физике. Как известно, Декарт сводил бытие к протяженности: «...природа материи, или тела, рассматриваемого вообще, состоит не в том, что оно – вещь твердая, весомая, окрашенная или каким-либо иным образом действующая на наши чувства, но лишь в том, что оно – субстанция, протяженная в длину, ширину и глубину». Обосновывая данный тезис, он приходит к выводу, что нечто является телом только тогда, когда оно обладает трехмерной протяженностью. Тем самым тело объективно не отличается от внутреннего места тела, а внешнее место – это поверхность тел, соприкасающихся с данным телом. Но как же быть тогда с разряжением тела? Дается ответ и на этот вопрос: между частицами тела находится не пустота, а другие тела, как вода в губке. Таким образом, «пространство, или внутреннее место, также разнится от тела, заключенного в этом пространстве, лишь в нашем мышлении. И действительно, протяжение в длину, ширину и глубину, образующее пространство, образует и тело. Разница между ними только в том, что телу мы приписываем определенное протяжение, понимая, что оно вместе с ним изменяет место всякий раз, когда перемещается; пространству же мы приписываем протяжение столь общее и неопределенное, что, удалив из некоторого пространства заполняющее его тело, мы не считаем, что переместили и протяжение этого пространства, которое, на наш взгляд, пребывает неизменным, пока оно имеет ту же величину и фигуру и не изменяет положения по отношению к внешним телам, которые мы определяем это пространство».

Телесность, с точки зрения Декарта, неограниченна в своей протяженности, потому пространство бесконечно. «...Этот мир, или протяженная материя, составляющая универсум, не имеет никаких границ, – утверждал философ, – ибо, даже помыслив, что они где-либо существуют, мы не только можем вообразить за ними беспретельно протяженное пространство, но и постигаем, что они действительно таковы, какими мы их воображаем. Таким образом, они содержат неопределенно протяженное тело, ибо идея того протяжения, которое мы постигаем в любом пространстве, и есть подлинная и надлежащая идея тела». Кроме того, поскольку не могло быть всеобщей бестелесной пустоты для создания мира, постольку мир, а, следовательно, и пространство вечны. Но какова структура пространства? Видимо, она определяется взаимным расположением примыкающих друг к другу материальных тел, не имеющих пор, то есть тел, мыслимых мельчайши-

ми. Однако это только первый, совершенно очевидный для Декарта вывод. Он идет дальше и глубже: структура пространства определяется еще и движением материальных тел. Действительно, утверждает он, «во всем универсуме существует одна и та же материя и мы познаем ее единственно лишь в силу ее протяженности». Все свойства, которые воспринимаются в материи, сводятся к ее делимости и подвижности в своих частях. Стало быть, «материя способна принимать различные состояния, которые, как мы видели, могут вытекать из движения ее частей». Тем самым движение есть не что иное, как действие, посредством которого данное тело переходит с одного места на другое, а в более общем смысле – «есть перемещение одной части материи, или одного тела, из соседства тех тел, которые с ним соприкасались и которые мы рассматриваем как находящиеся в покое, в соседство других тел». Если пустоты нет и все частицы примыкают друг к другу, то движение одной из них вызывает движение всех других. В итоге «нигде нет ничего неизменного», всюду царит вечное изменение. Это приводит к изменению плотности и появлению пластичности материи, то есть возникают локальные возмущения ее, а, следовательно, и протяженности – пространства. Пространство, таким образом, анизотропно и неоднородно.

В физике Декарта взаимодействие тел сводится к соударениям, в результате чего траектории движения искривляются. Каждое соударение не превращает прямолинейное движение в криволинейное, оно лишь меняет одно прямолинейное направление на другое, также прямолинейное. Но большое число соударений всегда дает замкнутую траекторию, образуя тем самым вихрь, так как тело может двигаться в заполненном пространстве только в том случае, когда одно тело уступает место, дорогу другому, то – третьему и т.д., пока последнее из захваченных вихрем тел не займет внешнее место первого тела. Возникающие завихрения перемещающихся масс определяют криволинейный характер геометрии движения материальных тел, в частности планет. Эту концепцию вихрей Декарт связывает с представлениями об абсолютной упругости тел и абсолютно упругом ударе. Иначе и быть не могло – все дело в представлении о форме и размерах тела, его сущности как о свойствах, сохраняющихся при движении и гарантирующих тождественность тела самому себе. Фактически, мы имеем здесь физикализацию геометрии (или геометризацию физики?).

Эти идеи Декарта оказались настолько общими и фундаментальными, что последующее развитие физики во многом сохранило их. Для

классической физики существование тождественных себе тел остается исходным постулатом. В квантовой механике, в том числе и в релятивистской квантовой механике, существование таких тел является необходимой компонентой теории, без которой квантовые представления о трансмутациях частиц теряют смысл.

Лейбниц, критикуя картезианство и картезианскую физику с тех же континуалистских позиций, ставил своей целью перестроить картезианскую систему кинетического объяснения процессов на динамическую их интерпретацию. Но сама логика динамического представления механических и математических понятий, которые он использовал, ломала рамки лейбницевской философской и физической схем и с неизбежностью приводила к идее атомизма, противостоящей континуализму.

Исходный пункт критики Лейбницем картезианства – невозможность индивидуализации тела, лишённого других свойств, кроме протяженности. Действительно, если вещь обладает только протяженностью, то в мире не может быть движения. «...Всякое действие тела есть движение» – утверждал философ. Не может быть в этом случае ни разнобразия, ни сцепления частей тела, ни их непроницаемости. В конце концов, сама протяженность тела не имеет смысла, если тело не обладает динамическими свойствами. Тело проявляет свою протяженность благодаря непроницаемости, в то время как по Декарту непроницаемость связана с частями самого пространства (что представляет собой физикализацию пространства). Иными словами, по Лейбницу непроницаемость является выражением динамических непространственных свойств тела. Протяженность же – результат действия непротяженной динамической субстанции, вернее, множества таких субстанций, которые Лейбниц назвал монадами. Эти монады, по его словам, создают само пространство. Поскольку монады, в отличие от атомов, непротяженны, постольку пространство можно представить как порядок явлений, наблюдаемых в один и тот же момент времени. Тем самым пространство, фактически, объявляется феноменологической категорией. И поскольку монады относились к метафизическому миру духовных сущностей, постольку они не оказали какого-либо влияния на развитие физики, хотя некоторые сторонники концепции монад приписывали им характеристики непротяженных силовых центров. Однако эта концепция вела к представлению о протяженности атомов и к иерархии дискретных частей материи, что казалось крайне привлекательным, а также к концепции пространства, свободного от материальных тел и в то же время имеющего определенную структуру, обусловленную

монадами. Ясно, что здесь много противоречий, но само по себе это было достаточно привлекательным с точки зрения попыток объяснить структуру и природу пространства не некоей пустотой, что вызывало еще большие трудности, но чем-то более конкретным. Тем более что лейбницевский вариант вводил в научный оборот представления о специфической форме актуальной бесконечности – такой бесконечности, которая может быть сосчитана, но практически такой пересчет невозможен и ненужен. Появляется принципиально пересчитываемое конечное множество, но рассматриваемое в качестве бесконечно большого, так как пересчитываемые элементы не сравнимы с ним, поскольку их поведение определяется другими законами, чем поведение множества. Таким образом, осуществляется логический переход к атомистике как иерархии протяженных тел. Но это было реализовано гораздо позже. Пока же монады использовались в физике как некое основание для существования разного рода первичных субстанций, типа электрической жидкости Франклина, в том числе и эфира.

Итак, какие же уроки можно извлечь из этого этапа развития физики и ее философии? Сначала выскажем очевидное и общепризнанное: шла борьба между сторонниками дискретного и континуального представлений, между атомистами и субстанционалистами. И тот, и другой подходы стремились объяснить одни и те же явления с разных позиций, но в обоих случаях возникали трудности, для разрешения которых необходимо было привлечение взглядов своих противников.

Фундаментальный вклад в изучение электромагнетизма внес Фарадей, который был буквально вынужден результатами своих эмпирических исследований обратиться к проблеме строения материи. Начал он с традиционной критики атомизма. Если атомы и пространство, рассуждал Фарадей, представляют собой два различных структурных компонента мира, то следует признать непрерывность только пространства, так как атомы представляют собой различные и отделенные друг от друга объекты. Пространство, таким образом, должно пронизывать все тела, отделяя атомы друг от друга. Возьмем какой-нибудь изолятор, например, сургуч. Если бы пространство было проводником, то изолятор должен был бы проводить ток, потому что пространство служило бы как бы металлической сеткой. Следовательно, пространство является изолятором. Но возьмем какой-нибудь проводник. И здесь все атомы окружены пространством, но если пространство – изолятор, то ток не может проходить от атома к атому. Получается, что пространство должно быть проводником. Мы имеем, таким образом, тео-

рию, противоречащую самой себе, и такой теории не место в системе физического знания.

Но если атомистическая теория не выдерживает критики, то ее необходимо заменить. И Фарадей выдвигает и обосновывает гипотезу, которая в дальнейшем привела к понятию поля. «Мы знаем силы и наблюдаем их присутствие в каждом явлении, но отвлеченной материи мы не встречаем ни в одном из них, — утверждал он. — Почему же мы должны признавать существование некоей вещи, о которой мы не можем составить себе никакого представления, вещи, представление о которой вовсе не является необходимостью для нашего мышления?». Таким образом, материю можно представить как систему сил, исходящих из центров сил, представляющих собой физические материальные точки. Такая материя существует повсюду, нет такой области пространства, где ее не было бы.

«Такой взгляд на строение материи, — продолжает Фарадей, — с необходимостью приводит, очевидно, к заключению, что материя заполняет собой все пространство или по крайней мере все пространство, в которой действуют гравитационные силы, потому что гравитация — это свойство материи, зависящее от определенной силы, а эта сила как раз и представляет собой материю. При таком понимании материи она не только взаимопроницаема, но и каждый ее атом простирается, так сказать, через всю солнечную систему, сохраняя, однако, свой собственный центр силы (выделено нами — *Авт.*)». Такой вариант объяснения структуры материи, по мнению Фарадея, позволяет обойтись без идеи эфира, который был переносчиком световых колебаний. Колебания света могут быть представлены как дрожание силовых линий.

Но не видим ли мы здесь объяснение одного неизвестного через другое неизвестное? Да, нам непонятная сущность эфира, обладающего противоречивыми свойствами, но не понятна и сущность силы, а сами силовые линии — материальны ли они? Существуют ли некие реальные объекты, которые мы можем определить как силовые линии, как центры сил? Отсутствие ответов на эти вопросы вернуло исследователей на казалось бы проторенные, а потому понятные хотя бы на интуитивном уровне тропы классического механицизма или эфира, в зависимости от их пристрастий и склонностей, что мы видим на первых этапах развития электродинамики.

Но в конечном итоге выяснилось, что уравнения Максвелла оказались инвариантными относительно преобразований Галилея и не-

применимыми к телам, движущимся по отношению к эфиру. Все более очевидным казалось, что реально поле, но не эфир. Тем более, что экспериментально подтвержденная Герцем электромагнитная теория Максвелла привела, в контексте идеи эфира, к опытам Физо и Майкельсона, результаты которых полностью противоречили этой идее. Но само поле оставалось «вещью в себе». Герц пытался спасти идею эфира, приняв гипотезу Стокса о полном увлечении эфира. Он нашел систему уравнений, инвариантных по отношению к галилеевским преобразованиям и превращающимся в частном случае покоящегося тела в уравнения Максвелла, но полученные им уравнения противоречили опыту Физо.

Лоренц пытался разрешить эти проблемы, не используя механического истолкования – он считал, что в последнем случае (и это действительно так) есть противоречие с третьим законом Ньютона – законом действия и противодействия. Им была выдвинута идея ввести в уравнения Максвелла дискретную структуру электричества. Лоренц принял существование эфира как единого, геометрически неизменного диэлектрика, лишенного внутренних движений, не подверженного внешним механическим воздействиям. Вещество же, по его мнению, состоит исключительно из элементарных частиц электричества. По этой гипотезе каждый движущийся электрон создает вокруг себя электромагнитное поле, а при изменении своего движения он излучает электромагнитные волны. Таким образом, уравнения Максвелла являются усредненными статистическими уравнениями электромагнетизма, вытекающими из «лоренцевской тонкой структуры». Исходя из таких предпосылок, Лоренц получил пять основных уравнений, из которых, по его мнению, вытекали все законы электромагнетизма.

Но существовали и проблемы, которые не решались в рамках лоренцевской теории. Дело в том, что, по Лоренцу, явления, происходящие в некоторой системе, казалось, должны были зависеть от абсолютной скорости движения этой системы, что противоречило идее относительности пространства, идущей еще от классической механики и казавшейся достаточно очевидной. Действительно, если два заряженных проводника двигаются относительно друг друга с одной и той же скоростью, то они находятся в относительном покое, а электромагнитное взаимодействие между ними таково, что они должны притягиваться друг к другу. Измерив это взаимодействие, говорили противники Лоренца, мы определим абсолютную скорость проводников. Но сторонники лоренцевской теории утверждали, что здесь будет из-

мерена скорость их относительно эфира, и принцип относительности, таким образом, здесь не нарушается.

Лоренц дал более удовлетворительный ответ, известный как преобразования, названные его именем. В то время как при преобразованиях Галилея время остается неизменным для двух систем, движущихся равномерно и прямолинейно одна относительно другой, при лоренцевских преобразованиях при переходе от одной системы к другой время изменяется. Поэтому Лоренц ввел понятие местного времени, не приписывая, правда, ему никакого физического смысла, но поиском которого некоторые исследователи пытаются заниматься и сейчас. Уравнения Максвелла оставались инвариантными относительно преобразований Лоренца, но неинвариантными оказывались уравнения классической механики. Так что расхождение между классической механикой и уравнениями Максвелла не было устранено.

Оставалась, таким образом, нерешенной проблема согласования электродинамики, классической механики и результатов опытов Физо и Майкельсона – Морли. И хотя при всем том, что электродинамика, как и классическая механика, удовлетворительно описывала реальность в контексте исследуемого ею предмета, стремление к единству физики требовало в обязательном порядке согласования двух этих отраслей физического знания. Такое согласование стало возможным при отказе от идеи эфира, но при полной потере ясности в понимании природы и структуры материи, пространства и времени. Оно было осуществлено с созданием специальной теории относительности, решившей эту проблему, но обострившую проблему структуры материи (более подробно о создании СТО см. в гл.2).

Специальная теория относительности (СТО) создавалась, помимо всего прочего, как теория, отказывающая эфиру в существовании во всех его формах и возможных проявлениях. Попытки А. Пуанкаре сохранить эфир, несмотря на вывод преобразований, которые легли в дальнейшем в основу математического аппарата СТО, оказались бесплодными, на наш взгляд, потому, что они не были, скажем так, достаточно настойчивыми, а потому – логически и методологически обоснованными. Собственно говоря, это было естественно, так как все возможности использования эфира как некоей физической среды, ответственной за перенос сигналов, с одной стороны, и как первоосновы материального мира, с другой стороны, были исчерпаны, потому что вступили в противоречие в самих своих основах – у эфира для удовлетворительного объяснения процессов, связываемых с его существова-

нием, должны существовать свойства, сочетание которых противоречило друг другу. Иными словами, они не могли существовать вместе и одновременно. Кроме того, определенные свойства эфира, по представлениям того времени, должны быть, скажем так, слишком абсолютными – абсолютная жесткость, абсолютная проницаемость в процессе движения в эфире других объектов, абсолютный покой и т.д. Предполагалось, что сами энергетические и динамические свойства эфира должны быть таковыми, что могли, должны были фиксироваться доступными тогда эмпирическими возможностями.

Но динамический характер эфира, в отличие от кинематичности СТО, продолжал сохранять определенную привлекательность, которая заставляла многих исследователей вновь и вновь возвращаться к попыткам пере интерпретации представлений об эфире с сохранением идеологии СТО. Дело в том, что отказ от эфира привел к потере объяснительного характера физического знания, основанного на идеях релятивизма. Феноменологизм СТО, обусловленный тем, что она по сути своей – кинематическая теория, обусловил и феноменологичность физики начала XX столетия, и такую переформулировку методологии и стиля мышления в физике в целом, которые известны нам как позитивистские. Действительно, СТО изменила и стиль мышления, и методологию научного познания, заставив пересмотреть укоренившиеся в физике классические представления.

СТО позволила разрешить проблемы электродинамики движущихся тел, но в рамках именно новой кинематики. Находящийся в абсолютном покое эфир не укладывался в формирующуюся электродинамическую картину мира, если в ее основу включалась галилеевская инвариантность как некий абсолютный принцип. Поэтому предполагалось, что только пересмотр основ электродинамики мог разрешить возникшие противоречия. Но Эйнштейн показал, что можно построить такую теорию, где эфиру, а, следовательно, и абсолютному покою, нет места, что полностью элиминировало эти противоречия.

Аргументация Эйнштейна опиралась на два момента: во-первых, существование эфирного ветра экспериментально не подтверждается, во-вторых, явления природы должны быть симметричными. И если первый момент при определенных условиях выглядит вполне убедительным и ясным, то второй – более туманен и вызван скорее эстетическими и эпистемологическими, чем онтологическими и методологическими соображениями. Речь идет о симметричности системы, состоящей из проводника и магнита. «Известно, что *электродинамика*

Максвелла в современном ее виде, — пишет Эйнштейн, — приводит в применении к движущимся телам к асимметрии, которая несвойственна, по-видимому, самим явлениям (выделено нами — Авт.). Вспомним, например, электродинамическое взаимодействие между магнитом и проводником с током. Наблюдаемое явление зависит здесь только от относительного движения проводника и магнита, в то время как, согласно обычному представлению, два случая, в которых движется либо одно, либо другое из этих тел, должны быть строго разграничены. В самом деле, если движется магнит, а проводник покоится, то вокруг магнита возникает электрическое поле, обладающее некоторым количеством энергии, которое в тех местах, где находятся части проводника, порождает ток. Если же магнит находится в покое, а движется проводник, то вокруг магнита не возникает никакого электрического поля; зато в проводнике возникает электродвижущая сила, которой самой по себе не соответствует никакая энергия, но которая — при предполагаемой тождественности относительного движения в обоих интересующих нас случаях — вызывает электрические токи той же величины и того же направления, что и электрическое поле в первом случае.

Примеры подобного рода... ведут к предположению, что... никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя и даже, более того, — к предположению, что для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы...».

Действительно, если мы признаем онтологическое существование асимметрии, то в этом случае мы должны признать и возможность существования выделенной по тем или иным параметрам системы отсчета, вплоть до существования абсолютной системы. Только абсолютизация и онтологизация симметрии как в целом, так и в частях позволяют утверждать о равноправности всех систем. Это один из аспектов проблемы симметрии, играющей огромную роль в формулировке и развитии физических теорий. Строго говоря, без признания симметрии мы не имели бы современную нам физику, опирающуюся существенным образом, особенно в формулировках законов сохранения, на представления о симметричности мира. Но симметричен ли наш физический мир настолько, что мы не можем выделить онтологически существующей некоей, условно говоря, абсолютной системы отсчета? Не теряем ли мы в борьбе за симметрию физическое содержание наших теорий? Вопросы эти требуют, очевидно, специального и более детального обсуждения, однако уже сейчас необходимо отметить, что

признание онтологической асимметрии приводит к осознанию ограниченности СТО, впрочем, как и любой другой физической теории. Прекрасно работая как инструмент для кинематического описания движения и естественным образом не требуя в своих основаниях обращения к эфиру, эта теория не является, тем не менее, абсолютной истиной даже в рамках своего действия, и именно потому, что ее исходные посылки носят более эпистемологический, чем онтологический характер. Эфир «удален» из мира не потому, что его реально не существует, а потому, что так «удобно» для теоретического описания этого мира. Место эфира заменило понятие поля, которое сейчас представляется таким же очевидным и понятным, каким до появления СТО считалось понятие эфира. Но полевые представления, учитывая опыт исторического развития физики, нельзя, видимо, считать настолько окончательными, что они не требуют своего пересмотра или, по меньшей мере, известной ревизии.

Следует отметить, что сам А.Эйнштейн не отказывался полностью от идеи эфира, понимая, что любая теория имеет лишь определенную конечную область действия, обусловленную как исходными посылками самой теории, в частности, так и познавательной ситуацией, в целом. Конечно же, это уже не эфир классической физики, но нечто другое, однако имеющее некоторые абсолютные характеристики. Но и эта абсолютность эпистемологическая, а не онтологическая. Иными словами, возможные абсолютные характеристики эфира (если он, конечно, существует) абсолютны только для него и для той физики, которая опирается в своих теоретических представлениях на идею эфира. Во всех остальных случаях (особенно при большей степени обобщения, т.е. создания теории более общей, чем теории, опирающейся на идею эфира) данные характеристики могут иметь относительный характер. Но можно ли всерьез говорить сейчас о физических теориях, опирающихся на идею эфира, особенно после впечатляющих, триумфальных успехах теории относительности и квантовой механики? Рассмотрим, как видел эту проблему Эйнштейн.

С точки зрения Эйнштейна, в основу представлений о существовании эфира «легли явления, которые породили теорию дальнего действия, и свойства света, которые привели к волновой теории света». Но, кроме того, и это, на наш взгляд, более существенно и важно для правильного понимания проблемы эфира, гипотеза эфира вызвана к жизни стремлением к единообразию в понимании природы сил. Теория эфира «нашла сильную поддержку в опыте Физо, из которого можно было

заклЮчить, что *эфир не принимает участия в движении тел* (выделено нами – *Авт.*). Опыт Физо является фундаментальным и для специальной теории относительности. Явление аберрации света точно также говорило в пользу теории квазитвердого эфира». Однако развитие электродинамики привело к изменению представлений об эфире. Вначале Максвелл приписывал эфиру чисто механические свойства, хотя и более сложные, чем у твердого тела. Но построить механическую модель эфира, которая давала бы удовлетворительное истолкование максвелловских законов электромагнитного поля, не удалось. «Законы эти – ясны и просты; механистическое истолкование их – неуклюже и непоследовательно» – так характеризовал Эйнштейн эти построения. Лоренц, казалось бы, разрешил эту проблему тем, что «лишил эфир его механических, а материю – ее электрических свойств». СТО, казалось бы, завершило дискуссию об эфире, вообще отказав ему в существовании: «Теория электромагнитного поля Максвелла – Лоренца послужила моделью для теории пространства и времени и кинематики специальной теории относительности. Таким образом, теория Максвелла – Лоренца удовлетворяет условиям специальной теории относительности; но с точки зрения последней она приобретает новый вид. Пусть K – некоторая координатная система, относительно которой эфир Лоренца покоится; тогда уравнения Максвелла – Лоренца будут справедливы прежде всего относительно K . Но, согласно специальной теории относительности, те же самые уравнения в совершенно неизменном виде будут справедливы и относительно всякой другой координатной системы K' , движущейся равномерно и прямолинейно относительно системы K . Теперь невольно возникает вопрос: почему мы должны приписывать системе K , в отличие от физически совершенно подобной ей системе K' , то свойство, что эфир относительно K неподвижен? Такая асимметрия теоретического построения, совершенно не опирающаяся ни на какую асимметрию опытных данных, недопустима (выделено нами – *Авт.*). Мне кажется неприемлемой (хотя логически и не вполне ложной) физическая равноценность систем K и K' при одновременном допущении, что эфир покоится относительно системы K и движется относительно системы K' . В этом вопросе можно встать на следующую точку зрения. Эфир вообще не существует. Электромагнитные поля представляют собой не состояния некоторой среды, а самостоятельные существующие реальности, которые нельзя свести к чему-либо другому и которые, подобно атомам весомой материи, не связаны ни с какими носителями». Таким образом, считая, что логически

концепция эфира не является вполне ложной, Эйнштейн, исходя прежде всего из своих представлений о симметрии и асимметрии, и в этой, более поздней работе считает, что в СТО нет места эфиру. Между тем далее он утверждает, что «специальная теория относительности не требует безусловного отрицания эфира; не следует только заботиться о том, чтобы приписывать ему определенное состояние движения...». Это очень важное утверждение, так как оно фактически легализует поиски эфира и придает этим поискам вполне конкретное направление – эфир, возможно, существует, но нельзя связывать его с механическими (в классическом смысле и в смысле СТО) явлениями. Кроме того, по его мнению, общая теория относительности (ОТО) оправдывает такое представление. Эйнштейн не принимает эфир для СТО как кинематики, но не принимает и мнение, что существует пустое пространство, не имеющие никаких физических свойств. А отрицать существование эфира для Эйнштейна то же самое, что и соглашаться с существованием такого пустого пространства. И решение проблемы эфира возможно, если бы удалось «объединение в одну общую картину гравитационного и электромагнитного полей. Тогда была бы достойно завершена эпоха теоретической физики, начатая Фарадеем и Максвеллом; сгладилась бы противоположность между эфиром и материей, и вся физика стала бы замкнутой теорией, подобной общей теории относительности, охватывающей геометрию, кинематику и теорию тяготения».

Таким образом, согласно Эйнштейну, эфир, возможно, существует, на что указывает ОТО, наделяющая пространство физическими свойствами. Однако этот эфир не обладает свойствами весомой материи и к нему нельзя применять понятие движения как в смысле классической механики, так и в смысле СТО. Но попытки Эйнштейна разработать такую единую теорию электромагнитного и гравитационного взаимодействия оказались безуспешными.

Физики могут сказать, что полевые представления, и прежде всего представления о физическом вакууме, выраженные в квантовой теории поля и в квантовой хромодинамике, избавляют нас от необходимости возвращаться к проблеме эфира. Но это далеко не так. Дело в том, что физический вакуум представляет собой состояние квантованных полей, характеризующееся отсутствием каких-либо реальных частиц и нулевыми значениями квантовых чисел. Причем эти свойства определяют состояния реальных частиц, «порождают» их в известной мере в результате виртуальных процессов, которые происходят и не происходят

одновременно. По своему методологическому и эпистемологическому качеству такие представления требуют в процессе своего развития все большее число гипотез *ad hoc*. В этом отношении представления о физическом вакууме заменили представления об эфире, тем более что он ответственен, как и эфир, за передачу сигналов. Но эти представления недостаточно неклассичны, чтобы не быть критикуемыми уже на современном этапе развития физики. Действительно, помимо всякого рода нулевых значений квантовых величин, виртуальных процессов и этим подобных представлений последовательное применение идеи физического вакуума не только приводит ко все большему отрыву от онтологии, когда операторы – вид математических операций – приводят к появлению или уничтожению реальных частиц, но и сам формализм приводит к разного рода проблемам, требующим для сохранения идеи прибегать к математическим и логическим допущениям, все более уводящим нас от физического смысла физических представлений. Нечто подобное происходило на закате их существования и с представлениями об эфире. Таким образом, вакуум, заменив собой эфир, проблемы эфира тем не менее не снял.

Видимо, для поиска более адекватных физической реальности представлений о наиболее фундаментальных основах нашего мира необходим более сильный отрыв от классической методологии, которая, несмотря на неклассический характер физики, продолжает сохранять господствующее положение в физическом исследовании. Борьба между детерминизмом и индетерминизмом, между сторонниками сохранения симметрии, ее абсолютности, и сторонниками ее нарушения, ее относительности, постоянное стремление к сохранению двузначной логики – вот отголоски классицизма в методологии: либо то, либо другое, третьего не дано. В этом отношении Эйнштейн при создании СТО и ОТО был более революционен, чем, может быть, создатели КМ, к которой он до конца своей жизни относился критически, заявляя, что «Бог не играет в кости».

§ 3. Формирование неклассических представлений о пространстве в философии и физике

В этом параграфе мы расскажем о начале формирования современных представлений о пространстве, которые сложились как в философии, так и в естествознании, прежде всего в физике. Мы уже не-

однократно отмечали преемственность знаний в процессе развития познания мира, начиная с мифологического этапа. И современные философия и физика продолжили эту традицию, синтезировав и критически обобщив многие из представлений, сформировавшихся в предыдущие эпохи.

Если Ньютон довел до логического завершения материалистически-атомистическую тенденцию развития представлений о пространстве, то идеалистическую трактовку пространства в наиболее развернутой форме дал Гегель, критически продолжив линию Лейбница и доведя ее с идеалистически-диалектических позиций до логического завершения. В общем случае для Гегеля пространство – это наиболее абстрактная характеристика инобытия идеи, лишенная каких-либо качественных определений и полагающая истинное во внешней, равнодушной рядоположенности моментов. Тем самым Гегель развивает в объективном направлении мысль Канта о том, что пространство есть «некая нечувственная чувственность и чувственная нечувственность». Пространство, считает Гегель, находится в неразрывной диалектической взаимосвязи со временем, движением и материей: «лишь в движении пространство и время действительны», но «точно так же, как нет движения без материи, так не существует материи без движения».

Интересен подход Гегеля к решению проблемы дискретности-непрерывности пространства. Он утверждает диалектическую связь дискретного и непрерывного. Действительно, «если... говорят о непрерывной и дискретной величинах как о двух особенных, противостоящих друг другу видах величины, то это лишь результат нашей абстрагирующей рефлексии, которая, рассматривая определенные величины, в одном случае оставляет без внимания один, а в другом – другой из моментов, содержащихся в понятии количества в неразрывном единстве». Поэтому, заявляет Гегель, «пространство в одно и то же время и непрерывно, и дискретно», и уточняет – «в себе дискретно». Пространственное раскрывается как форма «безразличной» рядоположенности и «спокойного» местопребывания. Иными словами, пространство – статичное образование.

Гегель считает, что, утверждая дискретность-непрерывность пространства, мы тем самым решаем вопрос о его бесконечности. В самом деле, если «пространство... есть лишь возможность, а не положенность внеположного бытия и отрицательного, и поэтому оно всецело непрерывно; точка, для-себя-бытие есть поэтому скорее положенное отрицание пространства, а именно положенное отрицание пространства

в нем самом», то пространство имеет границу, которая носит характер устойчивого существования. Гениальны его утверждения, что как «истинной пространства является время, так пространство становится временем... пространство переходит в него».

Но единство пространства, времени, движения и материи превращается у Гегеля в иррациональное: надо всем этим единством возносится дух, который совершеннее и конкретнее любого из элементов единства. И для духа не имеют никакой силы определения (для Гегеля они, как известно, являются первичными) пространства и времени: он их демиург в процессе своего самопознания. Поэтому очень трудно удовлетвориться гегелевскими формулировками пространства, которые получили массу самых разнообразных противоречивых и неоднозначных толкований.

Например, Гегель утверждает: «...Пространство и время непрерывны в самих себе, и движущееся тело одновременно находится и не находится в одном и том же месте, т.е. одновременно находится в другом месте, и точно так же одна и та же временная точка существует и вместе с тем не существует, т.е. есть вместе с тем другая точка». Или: «Две точки сливаются в единую точку, и в то время, когда они есть в одном, они также не есть в одном. Движение и состоит именно в том, что тело находится в одном месте и одновременно в другом месте, причем столь же верно, что оно находится не в другом, а именно в данном месте».

Истины ради надо сказать, что с позиций современной физики в приведенных тезисах есть очень много рационального, и чуть позже мы это покажем. Во всяком случае, интерпретация этих тезисов в последующем стала большой проблемой, но ясно, что в них Гегель угадал магистральную линию развития современных исследований, направленных на поиски единства прерывного и непрерывного в пространстве (времени, материи, движения в том числе). Очищенные от идеализма и иррационализма гегелевские представления о пространстве легли в основу диалектико-материалистической концепции пространства.

Известный интерес представляют рассуждения Гегеля и о континуальности пространства. Критикуя Лейбница, он пишет: «Если же говорят подобно Лейбницу, что пространство является порядком вещей... и что оно имеет своих носителей в вещах, то мы сразу же убедимся, что, если мысленно отбросить вещи, наполняющие пространство, все же остаются независимо от вещей пространственные отношения». В то же время Гегель не согласен и с ньютоновской концепцией

пустого пространства: «Мы не можем обнаружить никакого пространства, которое было бы самостоятельным пространством; оно есть всегда наполненное пространство и нигде оно не отлично от своего наполнения».

Пространство, по Гегелю, есть голая форма, некая абстракция – абстракция непосредственной внешности, и оно «всецело непрерывно». Действительно, если то, что наполняет пространство, не имеет ничего общего с самим пространством, если «все здесь находятся одно рядом с другим, не мешая друг другу», то пространство есть некая точечность, которая, будучи несуществующей, одновременно является «полнейшей непрерывностью». Следовательно, пространство континуально.

Можно видеть, что во многих своих трактовках свойств пространства, его сущности Гегель опередил развитие современного ему естествознания. Но необходимо отметить и то, что абсолютный идеализм и стремление к логически замкнутому системотворчеству привели Гегеля к противоречивым выводам не только в целом в его философской системе (это прежде всего противоречие между диалектическим методом и самой системой), но и, в частности, в учении о пространстве. Последовательность развития гегелевской системы, отражающей этапы развития абсолютного духа в процессе самопознания, привела автора этой системы к утверждению, что движущаяся материя есть порождение единства форм пространства и времени. Следовательно, по Гегелю, пространственные отношения и закономерности не могут зависеть от общих законов взаимодействия материальных объектов.

Наше нежелание согласиться с таким выводом связано с тем, что мы – сторонники точки зрения, согласно которой, грубо говоря, не пространство определяет материю, но, наоборот, материя, материальные объекты и закономерные взаимодействия между ними определяют пространство, его структуру и сущность (точнее, формы материи). В противном случае можно заключить, что пространственные отношения первичны, определяют явления природы и несущественны для сферы сознания.

Признание первичности материи (первичности гносеологической, но не онтологической) приводит к выводу, что пространство есть форма существования материи. Без материи эта форма ее существования есть ничто, пустое представление, абстракция, существующая только в нашей голове. Поэтому и невозможно «обонять пространство», но именно возможность абстрактного представления пространства позволяет строить его геометрию, изучая пространственные отношения

в отрыве от их носителей – материальных объектов, геометризировать пространство. Отметим сразу же, что геометрическое представление пространства началось фактически с первых же измерений расстояний и площадей. Первое теоретическое выражение оно нашло в геометрии Евклида, которая представляет пространство плоским.

Видимо, основные свойства пространства – его всеобщность, протяженность и координированность его частей. Координированность частей пространства определяет его структуру, протяженность – топологию. И совершенно очевидно, что закономерности пространства – это прежде всего и только закономерности материи. Но поскольку материя существует в различных формах и видах, постольку и пространство должно быть многообразно по своим видам и формам.

Данный факт определяет еще одно основное свойство пространства – его относительность. Здесь следует сказать, что, строго говоря, законы геометрии не зависят от строения материального объекта, но они определяются законами связей объектов, и поэтому, ввиду многообразия этих связей, многообразными должны быть и геометрии, что мы и наблюдаем. Таким образом, можно сделать самый общий вывод, имеющий большое методологическое значение: закономерности пространства относительны и обусловлены, геометрии пространства – многообразны.

Все названные выше свойства пространства однозначно вытекают из материальности мира и всеобщего универсального взаимодействия, которые отражены в действительно философских принципах. Никаких других общих свойств из философских соображений, философских исходных посылок и принципов вывести, на наш взгляд, невозможно. Однако в марксистской философской литературе широко распространено мнение, что к основным свойствам пространства можно отнести однородность, изотропность и трехмерность. Однородность означает отсутствие в пространстве каких-либо выделенных точек, а изотропность – равноправность всех возможных направлений.

На наш взгляд, эти свойства пространства нельзя отнести к основным. Дело в том, что они описывают конкретные структуры пространства, а философия, как мы увидим далее, может трактовать структуру пространства лишь в самом общем виде. В данном случае к самому понятию структуры подводит признание того, что пространство абсолютно в атрибутивном смысле, т.е. не существует материального объекта без пространственных характеристик. Иными словами, пространство не представляет собой некой сущности, находящейся вне матери-

альных объектов. Поэтому когда говорят, что объект движется в пространстве, это означает не более того, что он движется на фоне пространственной определенности другого объекта. Чистого пространства, не связанного с материальными объектами, не существует.

В отношении реального пространства имеет смысл утверждать, что его основными моментами являются место и положение, связанные между собой самым тесным образом. Место представляет собой единство пространственной границы и некоторого объема или протяженности, определяемых этой границей. Положение есть координация одного места относительно другого в том или ином процессе или явлении. Именно в результате различия положений элементов в явлении или процессе возникает определенная система пространственных отношений сосуществования и совместности, то есть пространственная структура. И поскольку явление или процесс локально-непрерывны, постольку и пространство в их рамках непрерывно и выступает в форме суммарной протяженности элементов, составляющих структуру данного явления или процесса. Но явления и процессы еще и дискретны, поэтому пространственная структура формируется и определенными местами элементов.

Таким образом, диалектика протяженности и дискретности формирует структуру пространства в целом, а многообразие материальных форм приводит к многообразию пространственных структур. И все это вместе определяет неуниверсальность однородности, изотропности и трехмерности, которые, следовательно, нельзя относить к основным свойствам пространства и включать в современную систему философских представлений о пространстве именно в таком качестве. А значит, необходимо исследовать эти свойства только конкретно-научными методами, оставляя за философией мировоззренческое и методологическое обеспечение конкретно-научных исследований.

Для правильного понимания проблемы универсальности основных свойств пространства, что имеет фундаментальное значение для современной философии (в контексте решения проблемы многообразия форм пространства) и науки (прежде всего физики – в контексте решения проблемы структуры пространства как в геометрическом, так и в конкретно-элементном ее представлении), необходимо четко различать пространство реальное, существующее, так сказать, «на самом деле», пространство концептуальное, т.е. некоторое научное представление о реальном пространстве (в основном это физические и математические абстрактные пространства) и пространство перцептуальное

(от лат. *perceptio* – восприятие, непосредственное отражение объективной действительности органами чувств), т.е. пространство как его воспринимает человек своими органами чувств, и прежде всего зрением и осязанием, иными словами, кажущееся пространство, которое, следовательно, может быть сугубо индивидуальным.

В известной степени перцептуальное пространство связывает реальное и концептуальное пространства. В начальный период познания мира эти три вида пространства могут сливаться в один, отождествляемый с реальным пространством, что и проявляется в мифологии. С развитием первых философских систем и выделением геометрии на интуитивном уровне происходит постепенное осознание различий между реальным, концептуальным и перцептуальным пространствами. Причем если для философии характерным было отождествление преимущественно реального и концептуального («мыслимого») пространства, то в науке того времени чаще всего отождествлялись концептуальное и перцептуальное пространства.

Впрочем, отождествление разных видов пространства (в их различном сочетании) характерно и для многих современных исследователей, как философов, так и естествоиспытателей. И поскольку реальность познается человеком в процессе теоретической и чувственно-практической деятельности, постольку больше всего «страдает» реальное пространство, точнее, представления о нем. Как правило, реальному пространству приписываются свойства концептуального и перцептуального пространств, то есть на него переносятся наши теоретические представления о пространстве и (или) чувственное восприятие пространства.

Такая экспансия «мыслимых» свойств пространства на реальные приводит к искажению содержания самих представлений о пространстве, ибо без коррекции, без учета относительности познания мы отождествляем эти свойства. Поэтому и появлялись в истории познания самые разные представления о пространстве, а некоторые из них даже объявлялись окончательными и максимально полными. Как указывает в связи с этим известный английский философ Бертран Рассел в своей книге «Человеческое познание», «одной из трудностей, приведших к путанице, было неразличение перцептуального пространства и физического пространства (реального, по нашей терминологии. – *Авт.*). Перцептуальное пространство состоит из воспринимаемых отношений между частями восприятия, тогда как физическое пространство состоит из выведенных отношений между выведенными физическими ве-

щами. То, что я вижу, может быть вне моего восприятия моего тела, но не вне моего тела как физической вещи».

Надо сказать, что приведенное высказывание вызывает у нас, авторов, некое «интеллектуальное неудобство» из-за использования понятия выведенности, которое, скорее, подходит для концептуального, чем для физического пространства. Выведенность предполагает определенный уровень абстрагирования, что означает понятийность физического пространства, в то время как Рассел понимает под физическим пространством реальное пространство, в котором локализованы физические объекты. Таким образом, Рассел, призывая к различению пространств реального и «мыслимого», сам не проводит четкого различия между представлением о физических объектах и физическом пространстве, с одной стороны, и самими физическими объектами и физическим пространством – с другой.

Тем не менее можно присоединиться (с высказанными здесь оговорками) к следующим словам Рассела: «...Когда я имею переживание, называемое “видением стола”, видимый стол имеет прежде всего положение в пространстве моего зрительного поля. Затем посредством имеющихся в опыте корреляций он получает положение в пространстве, охватывающем все мои восприятия. Далее посредством физических законов он коррелятивно связывается с каким-либо местом в физическом пространстве-времени, именно с местом, занимаемым физическим столом. Наконец, посредством физиологических законов он относится к другому месту в физическом пространстве-времени, именно к месту, занимаемому моим мозгом как физическим объектом. Если философия пространства хочет избежать безнадежной путаницы, она должна тщательно проводить границу между этими различными корреляциями».

Этого требования в дальнейшем будем придерживаться и мы. Кроме того полагаем, что читатель, возможно, захочет вернуться к предыдущей главе, чтобы обдумать с позиций данного требования представления о пространстве, развиваемые в истории познания.

Констатируя различия между реальным, концептуальным и перцептуальным пространствами, мы должны выделить и общее между ними. Строго говоря, общее между этими видами пространства – в их соответствии, так как последние два, отражая, моделируют первое. Видимо, одним из основных является их топологическое сходство: между точками реального и перцептуального пространств существует взаимнооднозначное соответствие и порядок точек в реальном пространстве

определяет порядок точек в перцептуальном. В свою очередь, непрерывному движению тела в перцептуальном пространстве соответствует непрерывное движение тела в пространстве реальном.

Установление топологического сходства между реальным и концептуальными пространствами значительно сложнее. Эта сложность обусловлена тем, что концептуальное пространство создается только в уме человека для научного познания реального пространства. Оно носит абстрактный, порой предельно абстрактный, характер и выражается в виде символов – математических, физических и др. Перцептуальное же пространство, будучи непосредственным отражением реального пространства, есть отражение чувственное. Оно является нам в процессе обыденного, повседневного опыта, который постоянно соотносит это пространство с реальным, что и позволяет нам ориентироваться в нем. Здесь нет символов, есть лишь непосредственное восприятие: даже стол, о котором говорит Рассел, – не стол вообще, а данный конкретный стол. Но как только мы вводим символическое представление о пространстве, так сразу же переходим на уровень концептуального пространства, независимо от того, каковы эти символы.

В виде символов можно представлять и реальное, и перцептуальное пространство: физическое пространство, пространство художественное (представление реального или перцептуального пространства на художественном полотне, например, или на сцене), математическое и т.д. Поэтому концептуальных пространств может быть, видимо, сколько угодно, и все они будут представлением двух других видов пространства. Мало того, именно благодаря концептуальному пространству мы порой отождествляем реальное и перцептуальное пространства, утверждая, что при описании наших ощущений пространства мы описываем реальное пространство (это, в частности, характерно для вульгарно-материалистических философских систем). Но, к сожалению, тем самым перцептуальное пространство, накладываясь своеобразной «матрицей» на наше мышление, что, вполне естественно, затрудняет понимание концептуального пространства. Последнее мы стремимся представить в виде очевидной, понятной картины, а это, в свою очередь, затрудняет исследование реального пространства.

Чисто психологически мы порой не воспринимаем и не принимаем концептуальное пространство, потому что оно якобы не соответствует реально «мыслимому» пространству, нашим ощущениям пространства. Этому способствует и наша логика обыденного восприятия, которая носит однозначный характер и требует, явно или неявно, ото-

ждествления абстракций (все чаще – неклассических) с реальностью и однозначного восприятия этой реальности. Концептуальное же пространство все чаще и чаще выходит за пределы «чувствований», давая возможность все глубже познавать реальное пространство. Мало того, существуют такие концептуальные пространства, которые вообще не отражают никаких свойств реального пространства. Пространства такого рода относятся либо к чистой геометрии, либо к описательным формализмам физики. Концептуальные пространства, описывающие структуру и свойства пространства реального, строятся в рамках физической геометрии. И поскольку в случае чистой геометрии связь концептуального пространства с реальным в лучшем случае чрезвычайно опосредованна, а чаще всего ее нет вообще, постольку в дальнейшем речь пойдет преимущественно о физических пространствах.

В конечном итоге возникает еще одна важная философская проблема – проблема универсальности самого пространства (и, конечно же, времени). Мы уже говорили, что в принципе материя многообразна. Значит ли это, что и пространство может быть многообразным, будучи определяемым разными видами материи и другими возможными формами?

Таким образом, можно видеть, что философское рассмотрение пространства приводит ко все новым и новым проблемам. Могут ли они быть решены только в рамках философской системы? Видимо, нет, так как философский анализ объекта (как и любой другой) конечен. Поэтому для решения указанных и многих других философских проблем пространства необходимо обратиться к иным возможным вариантам анализа. Речь может идти о естественно-научном анализе, результаты которого и будут способствовать решению этих проблем.

Но естественно-научный анализ целесообразно сочетать с анализом философским, так как философия, выступая мировоззрением и общей методологией познания, накладывается «матрицей» на сознание естествоиспытателя, определяя его стиль мышления, методологию и специфицируя само обобщение результатов исследования. Взаимодействие философии с конкретной наукой в процессе познания объектов, особенно таких фундаментальных, как пространство, является общепризнанным. И поэтому, излагая результаты естественно-научных исследований пространства, мы постоянно будем вынуждены обращаться и к философии.

Видимо, первой конкретно-научной концепцией пространства является его евклидово представление в форме евклидовой геометрии.

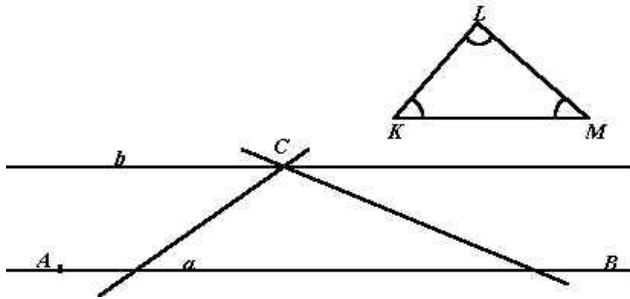
Выше мы уже отмечали, что в древности были эмпирическим образом заложены основы геометрии. В тот период геометрия складывалась как наука о непосредственно наблюдаемом пространстве. Первые геометрические понятия формировались на основе удовлетворения практических потребностей – потребности в определении емкости сосудов, амбаров, в измерении площади участков. Поскольку характеристики объемов и площадей на первый взгляд не зависят от материала, из которого состоят предметы, его химических, физических и других свойств, от них абстрагируются, учитывая лишь пространственные свойства предметов. Появляются первые абстрактные представления о геометрической точке, линии и поверхности. Точка лишена всех измерений, линия – толщины и ширины, поверхность – толщины. В III веке до нашей эры Евклид завершил создание своей геометрии, которая господствовала в науке около трех тысячелетий и в практически неизменной форме дошла до нашего времени.

Вспомним три основные аксиомы евклидовой геометрии: 1) между двумя точками можно провести одну и только одну прямую; 2) эта прямая есть кратчайшее расстояние между точками; 3) через любую точку, лежащую вне прямой, можно провести одну и только одну прямую, параллельную данной. Обыденная практика подсказывает, что эти аксиомы совершенно очевидны и не требуют специального геометрического либо какого-то другого математического доказательства. Но эта очевидность кажущаяся. Дело в том, что доказательство (в той или иной форме) аксиом евклидовой геометрии будет означать единственность ее по меньшей мере для человеческого мира. В контексте нашего анализа эта геометрия будет однозначно описывать пространство мира, определяемого взаимным положением материальных объектов, которые в идеализированном представлении можно будет назвать материальными точками, что, собственно, и происходит в классической механике.

Возможность отказа от одной из аксиом евклидовой геометрии либо построения любой другой внутренне непротиворечивой системы аксиом ставит вопрос о возможности существования других геометрий, описывающих пространство нашего мира. Это вполне естественно, ибо если истинность знания о реальности нельзя доказать, то истинность представлений, опирающихся на такое знание, становится сомнительной, несмотря на всю кажущуюся его очевидность. И вполне естественным является стремление доказать эту истинность на основе эмпи-

рической проверки, однако непосредственная эмпирическая проверка аксиом евклидовой геометрии по меньшей мере затруднительна.

Дело в том, что нет экспериментального критерия прямизны линии, соединяющей две точки, следовательно, ставятся под сомнение первая и вторая аксиомы. Что касается третьей аксиомы, то эмпирически убедиться в том, что отсутствует пересечение нескольких прямых, являющихся параллельными, на больших расстояниях вообще невозможно, во всяком случае на современном этапе развития науки и техники.



Отрезок AB – кратчайшее расстояние между точками A и B евклидова пространства.

Прямая b , проходящая через точку C вне прямой a , параллельна последней.

$\triangle KLM$ – треугольник в евклидовом пространстве; $\angle K + \angle L + \angle M = 180^\circ$

В самом деле, кажущиеся идеальными прямыми линиями световые лучи, распространяющиеся в пустом пространстве, сами требуют доказательства своей прямизны. Представим, например, что наше пространство сферично и тогда кратчайшее расстояние между двумя точками, по которому распространяется световой луч, есть дуга большой окружности, но никак не прямая. Таким образом, утверждение, что распространение луча прямолинейно, равносильно утверждению, что пространство евклидово, но именно этот тезис мы и пытаемся доказать, т.е. одно неизвестное выявляем через другое неизвестное.

Возможно другое утверждение, вытекающее из евклидовых аксиом и допускающее, казалось бы, прямое эмпирическое доказательство евклидовости пространства путем измерения. Речь идет об измерении углов треугольника, сумма которых должна быть равна 180° . Но и в данном случае возникают проблемы, ставящие под сомнение результаты измерений. Во-первых, мы уже признаем, что эталон для измерений евклидов, но это надо еще каким-то образом доказать. Во-вторых, даже если мы берем треугольник максимально больших размеров, что уве-

личивает точность измерения, мы всегда можем сказать, что есть еще больший треугольник, и вот здесь-то сумма углов отличается от 180° .

Таким образом, эмпирически доказать истинность и единственность евклидовой геометрии с достаточной достоверностью, по всей видимости, невозможно. Совокупный эмпирический опыт, казалось бы, подтверждает евклидовость геометрии пространства, но этот опыт все-таки локален пространственно и не бесконечен во времени. Математические доказательства истинности аксиом евклидовой геометрии также не привели к требуемым результатам.

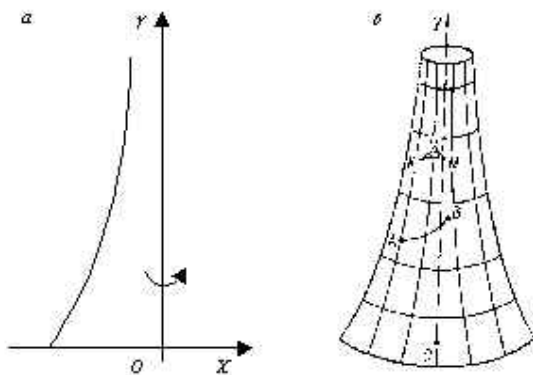
В конечном итоге понятно, что можно построить другие геометрические системы, и все их наряду с евклидовой проверить на различных моделях физического пространства Вселенной, т.е. использовать физические соображения в качестве основы для доказательства. Читатель мог бы здесь возразить: классическая механика построена на основе евклидова пространства и поскольку она достаточно достоверна, то достоверна и евклидовость пространства. Однако сама классическая механика ограничена предметом исследования, поэтому и подтверждение ею евклидовости пространства также ограничено.

Итак, строго говоря, одним каким-то опытом или даже некоторой ограниченной группой опытов евклидовость пространства однозначно не доказывается. Изменение же системы аксиом приводит к созданию новых геометрий.

В 1829 году русский математик Н.И. Лобачевский опубликовал статью «О началах геометрии», в которой он утверждает, что возможно построение геометрии без аксиомы о параллельности прямых в смысле евклидовой геометрии, причем новая геометрия будет также логически непротиворечива. Аналогичная идея была высказана венгерским математиком Яношем Бояи и немецким математиком Карлом Гауссом. Интересно, что новые идеи возникли в одно и то же время независимо в Казани, Будапеште и Геттингене и долго оставались малоизвестной областью науки.

Первым, кто целиком понял их значение, был выдающийся немецкий математик Бернхард Риман, создавший общую теорию геометрических многообразий (1854 г.). Данная теория допускала не только существовавшие виды неевклидовых геометрий, но и многие другие, названные римановыми геометриями. Это было выдающееся обобщение классической геометрии, получившее признание лишь с развитием неклассической науки.

Основная идея геометрии Лобачевского заключается в новой формулировке аксиомы параллельности, противоположной евклидовой: к данной прямой через данную точку, лежащую вне ее, можно провести по меньшей мере две прямые так, что они не пересекают данную прямую. Очевидно, что любая прямая, расположенная между этими прямыми и проходящая через данную точку, также не пересечет данную прямую. Таким образом, через данную точку можно провести сколько угодно прямых, параллельных данной. Все другие аксиомы Евклида сохраняются. Из этого Лобачевский выводит ряд теорем, которые не противоречат друг другу, и строит логически непротиворечивую геометрию, которая значительно отличается от евклидовой и кажется весьма странной. Так, сумма углов треугольника всегда меньше 180° ; невозможно построить фигуру, подобную данной, но имеющую другие размеры; расстояние между двумя прямыми в одном направлении асимптотически увеличивается, а в другом, противоположном, асимптотически уменьшается; угол параллельности меняется в зависимости от расстояния от точки, через которую проводится параллельная линия, до данной линии и т.д.



Двумерный аналог геометрии Лобачевского: трасоида (а) и псевдосфера, образованная вращением трасоиды вокруг оси OY (б). AB – геодезическая (кратчайшее расстояние между точками A и B в пространстве Лобачевского).

ΔKLM – треугольник в пространстве Лобачевского; $\angle K + \angle L + \angle M < 180^\circ$

Можно построить двумерный образ геометрии Лобачевского путем вращения трактрисы вокруг оси OY как оси вращения. Полученная поверхность носит название псевдосферы. На такой поверхности кратчайшей линией между двумя точками будет кривая, называемая геоде-

зической. Эта кривая и соответствует прямой Лобачевского. При передвижении фигуры по поверхности будет меняться кривизна фигуры, но сохраняются углы, отрезки и величина площади.

Наглядный образ, соответствующий трехмерной геометрии Лобачевского, построить не удастся, так как геометрия в обыденном представлении остается евклидовой. Однако удалось доказать логическую непротиворечивость и существование такой геометрии. Основная идея доказательства заключается в том, чтобы свести геометрию Лобачевского, построенную как планиметрию (т.е. на плоскости), к геометрии на трехмерной гиперповерхности постоянной отрицательной кривизны (аналогом такой гиперповерхности-псевдосферы может быть трехмерный гиперboloид) в четырехмерной евклидовой геометрии. Модель трехмерной геометрии Лобачевского можно представить в виде бесконечной седловидной поверхности гиперболической формы, поэтому такую геометрию обычно называют гиперболической.

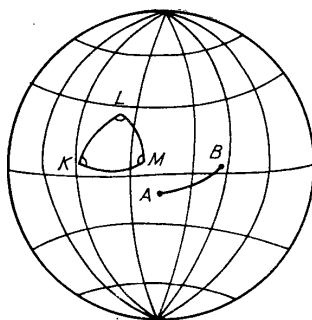
Мы уже говорили, что Риман обобщил геометрические представления и создал теорию произвольно искривленных пространств. Заслуга его состоит и в разработке частных случаев неевклидовых геометрий, в том числе в создании эллиптической геометрии, выступающей антитезой гиперболической геометрии Лобачевского. Эллиптическая геометрия – это геометрия на трехмерной гиперсфере. Двумерной ее аналогией является геометрия на поверхности обычной сферы. Здесь можно видеть, что представление о параллельных линиях вообще теряет всякий смысл, ибо все «параллельные» в локальном смысле линии представляют собой линии большого круга, пересекающиеся на полюсах сферы, а сумма углов треугольника, образованных этими линиями, всегда больше 180° .

Следует особо отметить, что при малых величинах неевклидовы геометрии можно считать евклидовыми.

А сейчас вернемся к рассмотрению проблемы соотношения геометрии и физического мира. Лобачевский и Риман, строя свои геометрические системы, постоянно обращались к этой проблеме. Так, Лобачевский считал, что «между свойствами, общими всем телам, одно должно называться Геометрическим – прикосновением. Словами нельзя передать совершенно того, что мы под этим разумеем: понятие приобретено чувствами, преимущественно зрением, и сими-то чувствами мы его постигаем. Прикосновение составляет отличительное свойство тел: ни в силах или времени и нигде в природе более его не находим.

Отвлекая все прочие свойства, телу дают название Геометрического. Прикосновение соединяет два тела в одно. Так все тела представляем частью одного – пространства».

По мысли Лобачевского, геометрические свойства тел определяются силами, формирующими эти тела. «...Силы, – утверждал он, – все производят одни: движение, скорость, время, массу, даже расстояния и углы». И поскольку «силы зависят от расстояния, то линии могут быть также в зависимости с углами». Таким образом, характер сил определяет различные закономерности пространства и различные геометрии, но, по мнению Лобачевского, возможна некая общая геометрия, а другие – это лишь ее частные случаи. И то, какие геометрии соответствуют реальному пространству, может показать только опыт.



Двумерный аналог гиперсферы Римана. AB – геодезическая в пространстве Римана.

$\triangle KLM$ – треугольник в пространстве Римана; $\angle K + \angle L + \angle M > 180^\circ$

Такой опыт для определения реальной геометрии пространства Лобачевский провел на основе астрономических измерений. Используя два положения Земли на орбите и звезду, он измерял ее параллакс и пришел к выводу, что пространство мира – евклидово, так как сумма углов получаемого астрономического треугольника равнялась 180° с точностью, которую допускали имевшиеся тогда измерительные приборы. Однако если бы инструменты были более точными, разочарование Лобачевского было бы значительно сильнее: он обнаружил бы, что сумма углов ни равна 180° , как в случае евклидовой геометрии, ни меньше 180° , как в его геометрии. Она оказалась бы больше 180° .

Риман также пришел к выводу, что геометрия пространства определяется физическими силами. Его мысль о неотделимости геометрии от физики, как писал Альберт Эйнштейн, «нашла свое фактическое

осуществление семьдесят лет спустя в общей теории относительности». И опыты в астрономических масштабах пространства во многом подтверждают реальность гипертетраэдрического пространства Римана.

Английский математик Вильям Клиффорд развил идею связи геометрии пространства с физикой. В книге «Здравый смысл точных наук» он писал: «...Спросим же себя, не можем ли мы... рассматривать как изменения физического характера те действия, которые на самом деле обязаны своим происхождением изменениям в кривизне нашего пространства. Не окажется ли, что все или некоторые из тех причин, которые мы называем физическими, свои начала ведут от геометрического строения нашего пространства. Вот три рода изменений кривизны в пространстве, которые мы должны признать лежащими в пределах возможного: I. Пространство наше, быть может, действительно обладает кривизной, меняющейся при переходе от одной точки к другой, — кривизной, которую нам не удастся определить или потому, что мы знакомы лишь с небольшой частью пространства, или потому, что смешиваем незначительные происходящие в нем изменения с переменами в условиях нашего физического существования, последние же мы не связываем с переменами в нашем положении... II. Наше пространство может быть действительно тождественно во всех своих частях (имеет одинаковую кривизну), но величина его кривизны может изменяться как целое во времени. В таком случае наша геометрия, основанная на тождественности пространства, сохранит свою силу для всех частей пространства, по перемены в кривизне могут произнести в пространстве ряд последовательных видимых изменений. III. Мы можем мыслить наше пространство как имеющее повсюду приблизительно однородную кривизну, но легкие изменения кривизны могут существовать при переходе от одной точки к другой, в свою очередь изменяясь во времени. Эти изменения кривизны во времени могут произвести явления, которые мы не так уж неестественно приписываем физическим причинам, не зависящим от геометрии нашего пространства». Интересно то, что все эти три варианта изменения кривизны пространства нашли свое воплощение в общей теории относительности.

Итак, мы видим, что из опыта сделать однозначный вывод о геометрии пространства невозможно. Но значит ли это, что для описания реального пространства можно выбрать любую геометрию и подогнать под нее описание физических объектов, что, собственно говоря, предлагает Клиффорд и настойчиво проводили в жизнь последователи од-

ного из основоположников теории относительности французского физика Анри Пуанкаре? Иначе говоря, значит ли это, что отсутствует абсолютная физическая геометрия?

Казалось бы, многообразие мира позволяет удовлетворительно ответить на этот вопрос. Каждому уровню физической материи соответствует своя специфическая геометрия, ибо специфические физические явления того или иного уровня определяют специфические свойства пространства данного уровня. И бесконечно большое количество этих уровней (в силу бесконечного разнообразия мира) определяет бесконечное количество пространств и соответственно геометрий, описывающих свойства пространства. С другой стороны, как показывает опыт развития физики и математики, возможность подгонять под любую геометрию описание физических процессов и явлений путем введения поправочных величин не так уж и фантастична, и многие исследователи небезуспешно пытались это сделать.

Однако не будем торопиться с выводами, особенно с утверждением, что поскольку физика подтверждается экспериментами, а физические явления формируют пространство и само пространство, в свою очередь, определяет физические явления, то физика и геометрия в их взаимосвязи, в совокупности выявляются и подтверждаются этими экспериментами. На первый взгляд это вполне диалектическое обоснование релятивности пространства. Но только на первый взгляд и не более. Решение философской проблемы пространства, т.е. проблемы его структуры, свойств и связи с материей, а следовательно, выявление сущности представления пространства как формы существования материи и универсальности его свойств (каких?) лежит па пути конкретно-научных исследований.

Прежде чем перейти к рассказу о конкретно-научных представлениях о пространстве, и прежде всего физических, необходимо остановиться на математическом описании пространства, так как без разъяснения сути такого описания дальнейший рассказ становится невозможным. Обобщенная риманова геометрия позволяет сделать это достаточно коротко и ясно (если не в зримо-представимом виде, то в математическом). Естественно, в детали, даже чрезвычайно существенные, мы в силу специфики изложения вдаваться не будем, стремясь сохранить максимум наглядности.

Представим отрезок AB в прямоугольной системе координат (евклидово пространство). Его длина определится по теореме Пифагора как

$$(AB)^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$$

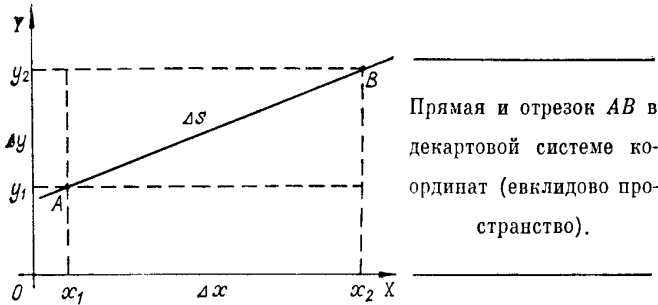
где x_1, x_2, y_1, y_2 — проекции концов отрезка AB на оси X и Y , или

$$(AB)^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2. \quad (2)$$

Для бесконечно малого расстояния между двумя точками принят символ ds . Поэтому, если точки A и B сближаются все больше и больше, можно написать

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 \quad (3)$$

Предположим, что система координат относительно начала координат O повернулась на некоторый угол α .



Обозначим новую систему координат как $X'Y'$. Тогда расстояние между точками, не изменившееся по величине, запишем как

$$ds^2 = dx'^2 + dy'^2 \quad (4)$$

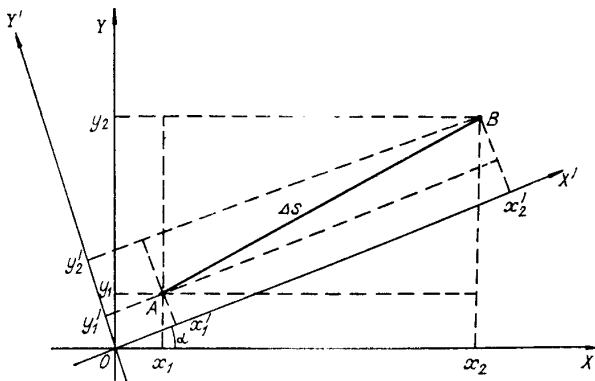
Поскольку при любом вращении или параллельном переносе координат величина расстояния не изменяется, она называется инвариантной относительно преобразования координат.

Для косоугольной системы координат квадрат длины отрезка AB , который называется в общем и строгом смысле квадратом интервала, запишем (на основе той же теоремы Пифагора) в виде

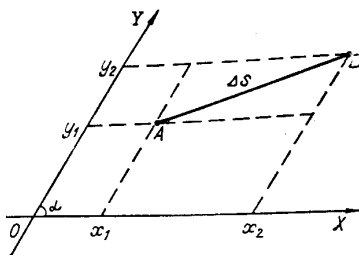
$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + 2 dx dy \cos \alpha \quad (5)$$

При этом, как можно видеть, численное значение интервала не изменяется, хотя формула для его выражения имеет более сложный вид, чем формула (3), т.е. и в данном случае интервал является инвариантом относительно замены координат.

Рассмотрим описание интервала в неевклидовой геометрии. Но чтобы лучше понять смысл этого описания, сравним геометрию двумерного пространства с геометрией двумерной сферы. В качественном отношении эти пространства одинаково однородны и изотропны, так как и в случае сферы все ее точки эквивалентны относительно поворотов осей координат или их параллельного переноса. Иначе говоря, в максимально общем смысле свойства обоих пространств одинаковы. Но эта одинаковость качественна, она не позволяет проводить математическое описание, т.е. ее признание ничего не дает. Следовательно, необходимо выявить и сравнить количественные описания, характерные для этих систем координат.

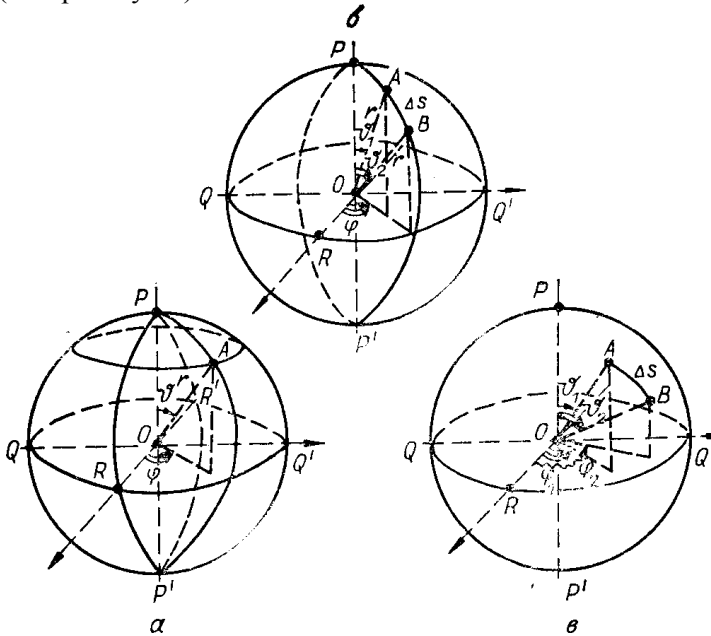


При повороте системы координат на $\angle \alpha$ величина отрезка AB не изменяется.



Отрезок AB в косоугольной системе координат

Введем сферическую систему координат. Она состоит из заданной фиксированной точки O , из произвольно ориентированной в пространстве прямой p , проходящей через центр O , из полуплоскостей, ограниченных этой прямой, из конических поверхностей с вершиной в точке O и прямой p в качестве оси и из сфер с центром в точке O . Прямая p как радиус есть параметр семейства сфер с центром O . Параметром семейства полуплоскостей является угол φ , который образует полуплоскость с так называемой полуплоскостью нулевого меридиана (аналогична географической долготе). Параметр семейства конических поверхностей – угол раствора θ , который измеряется между положительным направлением прямой p и образующей боковой поверхности конуса (полярный угол).



Построение отрезка AB в сферической системе координат:
 определение координат точки A (α); построение дуги большого круга (δ);
 построение произвольной дуги AB (ν)

Выберем из семейства сфер, задаваемых параметром ρ , некоторую сферу радиусом r ($\rho = r$). Тогда координаты точки A на поверхности сферы определяются на основе сказанного следующим образом. За-

фиксируем большой круг QQ' , называемый экватором, и большой круг PP' , называемый нулевым меридианом (P и P' – полюса). Большие полуокружности сферы, исходящие из полюса P , называются меридианами, малые круги, параллельные экватору, – долготами. Угол φ , т.е. угол между нулевым меридианом и меридианом точки A (азимутальный угол), отсчитываемый против часовой стрелки (долгота), и угол θ , отсчитываемый от полюса P до долготы точки A (полярный угол), вполне задают координаты точки A . Аналогичным образом определяются координаты точки B . Тогда интервал между двумя бесконечно близкими точками A и B (элементарный интервал AB) можно получить из выражения

$$ds^2 = K du^2 + 2L du dv + M dv^2. \quad (6)$$

Эту формулу мы даем без вывода, который может проделать каждый, кто знаком с основами сферической геометрии, тригонометрии и дифференцирования.

Выражение (6) никакими преобразованиями нельзя свести к простой формуле (3) одновременно для всей поверхности сферы. Такую операцию можно осуществить лишь локально, выбирая направление на бесконечно малом участке сферы, так чтобы $\angle\theta = 90^\circ$, и это фиксирует систему координат применительно только к данному участку сферы. В целом же, глобально, сделать это невозможно, что отражает неевклидовость сферы.

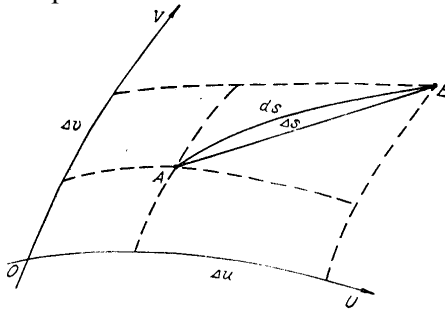
Следующий шаг по пути обобщения представления пространственного интервала связан с его описанием на любой произвольной криволинейной поверхности. Из анализа сферической системы координат мы видим, что вводятся элементы, фиксирующие тот факт, что поверхность искривлена, т.е. углы и радиус, которые, однако, при минимальной значимой локализации (грубо говоря, «выпрямлении») кривизны, представлении каждой достаточно малой локальной области поверхности в виде плоскости) дают инвариантный интервал – интервал, не изменяющий своей величины при преобразовании координат.

Представим, что мы имеем координатные линии любого искривления, в наиболее простом виде – косоугольные (гауссовы) с двумя измерениями U и V . Тогда

$$ds^2 = K du^2 + 2L du dv + M dv^2, \quad (7)$$

где K , L , M – величины, меняющиеся от точки к точке, т.е. характеризующие искривление поверхности. Эти величины могут измеряться с помощью бесконечно малых масштабов длины и угла и характеризуют геометрию самой поверхности.

Прикладывая бесконечно малые интервалы друг к другу, мы можем найти кратчайшее расстояние между двумя точками, которое в самом общем случае называется геодезической. Последняя является аналогом прямой линии в декартовой прямоугольной системе координат (евклидовом пространстве). Для каждого бесконечно малого интервала мы можем построить окружности и на этой основе определить соответствующие углы (предлагаем сравнить со сферической системой координат). Прямые линии и углы позволяют нам проводить любые геометрические построения.



Отрезок AB в криволинейной (гауссовой) системе координат. Если поверхность искривленная, то в этой системе координат кратчайшее расстояние ds (геодезическая) между точками A и B не совпадает с отрезком AB на плоской поверхности

Эти линии и углы с геометрической (но не с физической) точки зрения поддаются точным измерениям. Если поверхность евклидова декартовой системой координат, то наши измерения подтверждают аксиомы Евклида. Если поверхность – сфера, то постулат о параллельности прямых не выполняется. Не выполняется и постулат о бесконечной протяженности прямой линии. В этом случае каждая прямая, лежащая в одной плоскости с данной прямой, пересекает ее, а движение от данной точки по прямой снова приведет в эту данную точку независимо от направления перемещения. Если же поверхность образована вращением тороида вокруг оси (простейшая псевдосфера Лобачевского), то через точку, лежащую вне данной прямой, проходит более чем одна линия, лежащая в одной плоскости с данной прямой и не пересекающая ее.

В самом общем случае может существовать такая поверхность, на которой не соблюдается ни одна из аксиом Евклида. Именно для этой поверхности можно построить обобщенные косоугольные координаты Гаусса, каждая из осей которых криволинейна, причем этих осей (измерений) может быть любое количество ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Величины K , L и M (число таких величин равно трем только при $n = 2$, при $n > 2$ их больше), которые изменяются в самом общем случае от точки к точке, но в каждой точке локально измеримы, позволяют благодаря этому совершить все обычные геометрические построения и определить вид поверхности. Такую обобщенную поверхность называют римановой, и для нее, как можно видеть, в бесконечно малых окрестностях каждой точки аксиомы Евклида выполнимы, но в целом для поверхности они не соблюдаются.

Интересующие нас величины K , L и M можно характеризовать как две стороны параллелограмма (K и M) с углом L между ними, построенного в произвольных криволинейных координатах на интервале ds как диагональ этого параллелограмма. Но таких величин, характеризующих вид поверхности, будет слишком много, и процедура построения огромного количества параллелограммов слишком длительна, поэтому она представляет лишь теоретический интерес.

Как же в таком случае измерить, охарактеризовать поверхность, не прибегая к параллелограммам и к измерению величин K , L и M , число которых, строго говоря, для каждой поверхности бесконечно? Для этого используют понятие кривизны поверхности в окрестностях точки. Интуитивно смысл данного понятия очевиден, но понимание математического его описания на основе геометрических построений требует известного труда. Мы должны проделать эту работу, так как в противном случае будет весьма трудно анализировать представления о физическом пространстве, существующие в теории относительности.

Можно сказать, что кривизна – это величина, характеризующая отклонение кривой (линии либо поверхности) от прямой (линии или плоскости). Отклонение дуги AA' кривой L от касательной AB к точке A можно описать так называемой средней кривизной $k_{\text{ср}}$ этой дуги, равной отношению величины угла α между касательными в точках A и A' к длине Δs дуги AA' :

$$k_{\text{ср}} = \frac{\alpha}{\Delta s} \quad (8)$$

Для дуги окружности радиусом r путем сравнения выражения длины дуги Δs , получаемого из равенства (8), с известным выражением длины дуги окружности можно показать, что

$$k_{\text{ср}} = \frac{1}{r} \quad (9)$$

Таким образом, можно видеть, что чем больше радиус дуги, тем меньше кривизна, и наоборот, т.е. средняя кривизна достаточно наглядно показывает степень искривленности.

Пусть точка A' стремится к точке A , т.е. $\Delta s \rightarrow 0$. Тогда мы получим предельное значение средней кривизны $k_{\text{ср}}$ кривой L в точке A :

$$k_{\text{ср}} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\alpha}{\Delta s} \quad (10)$$

Приведенные здесь рассуждения характеризуют отклонение кривой линии от прямой. Причем если линия одномерна, то для определения ее кривизны мы (во всяком случае при проведении геометрических построений) выходим за пределы одномерного пространства в двумерное. Зафиксируем этот факт и посмотрим, как определяется отклонение поверхности от плоскости.

Для характеристики кривизны поверхности в окрестностях точки A построим плоскость L , проходящую через нормаль NA к поверхности в точке A , т.е. через прямую, проходящую через точку A и перпендикулярную касательной прямой в этой точке поверхности. Построенная нами плоскость L будет естественно перпендикулярна плоскости K , касательной к поверхности S в точке A . Ясно также, что существует бесконечное множество плоскостей, проходящих через данную нормаль, и каждая из них пересекает поверхность по некоторой кривой, которую в малой окрестности точки A можно считать частью окружности.

Предположим, далее, что наша плоскость поворачивается вокруг нормали как оси. Тогда можно видеть, что радиус таких окружностей будет непрерывно меняться, так как в каждый момент меняется кривизна поверхности в окрестности точки A , называемая нормальной кривизной поверхности в этой точке. Мы получим непрерывное множество значений нормальной кривизны.

Можно также заметить, что существуют максимальное и минимальное значения радиусов получаемых окружностей, следовательно, существуют соответствующие минимальное и максимальное значения

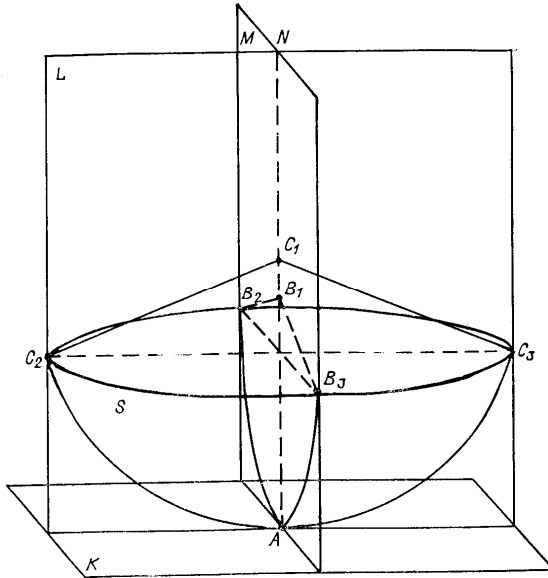
нормальной кривизны. Если R_1 и R_2 – максимальный и минимальный радиусы, то $k_1 = 1/R_1$ и $k_2 = 1/R_2$ – минимальное и максимальное значения кривизны, которые называются главными значениями кривизны поверхности в точке A . Вводимые по определению величина

$$k = \frac{1}{R_1 R_2} \quad (11)$$

называемая гауссовой кривизной поверхности в точке A , и величина

$$k_{\text{ср}} = \frac{1}{2(k_1 + k_2)} \quad (12)$$

называемая средней кривизной поверхности в точке A , полностью характеризуют отклонения поверхности от плоскости. В частности, если k и $k_{\text{ср}}$ равны 0 во всех точках поверхности, то поверхность представляет собой плоскость.



Определение кривизны поверхности S в точке A . Любая плоскость (например, L или M) определяет нормальное (перпендикулярное) сечение поверхности S . Вблизи точки A кривую пересечения секущей плоскости и поверхности S можно считать окружностью. Если ее радиус – R , то $1/R$ – нормальная кривизна поверхности в данном направлении.

При повороте секущей плоскости вокруг AN нормальная кривизна меняется.

Существуют максимальный и минимальный радиусы окружностей (например,

$$C_1 C_2 = C_1 C_3 = C_1 A \text{ и } B_1 B_2 = B_1 B_3 = B_1 A) \text{ обозначаемые как } R_1 R_2$$

Интересен тот факт, что гауссова кривизна не меняется при изгибаниях поверхности и описывает без обращения к еще одному измерению пространства (т.е. к пространству, объемлющему поверхность) так называемую внутреннюю геометрию поверхности. Средняя кривизна связана с внешней формой поверхности. Объясним этот факт более наглядно.

Выше мы уже предлагали зафиксировать внимание на том, что в случае одномерной линии для определения ее кривизны придется выйти в двумерное пространство. Совершенно ясно, что для гипотетических обитателей двумерной поверхности, для которой мы выясняли смысл понятия кривизны, наши построения невозможны, так как для двумерного существа понятия нормали к точке A не существует, ибо сама нормаль непредставима, как непредставима для нас нормаль к нашему пространству из пространства с большим числом измерений: она лежит во внешнем пространстве и находится, таким образом, целиком вне поверхности. Не могут построить они и окружности к точке A , также выходящие в трехмерное пространство.

Следовательно, на первый взгляд эти двумерные существа не смогут понять смысл величин R_1 и R_2 и выявить кривизну своей поверхности в точке A . Ведь и нам, чтобы доказать, что Земля сфероподобна, необходимо выйти в третье измерение – вспомним известный пример с судном, движущимся к нам из-за горизонта. Но если нас окутывает сплошной, непроницаемый туман, то как мы сможем «увидеть» трехмерность нашего пространства и доказать тем самым сфероподобность Земли?

Оказывается, кривизну можно выявить и не выходя за пределы измерений исследуемой поверхности, если воспользоваться измерением уже упомянутых величин K , L и M . Так, для Земли мы обнаружим, что сумма углов достаточно большого треугольника больше 180° . Таким образом, зная величины K , L и M , можно определить кривизну поверхности, не выходя за ее пределы. И если $k = 0$, то мы имеем евклидову геометрию, в случае $k > 0$ имеет место сферическая геометрия, при $k < 0$ – геометрия Лобачевского.

В последнем случае отрицательность кривизны объясняется следующим. Представим некую седловидную поверхность, отвечающую требованиям геометрии Лобачевского. Для такой поверхности два главных нормальных сечения, определяющих максимальное и минимальное значения кривизны, лежат в противоположных направлениях от точки A ,

а значит, радиусы кривизны необходимо взять с разными знаками. Поэтому произведение $R_1 R_2$ оказывается отрицательным числом.

Но почему именно произведение $R_1 R_2$ определяет внутреннюю геометрию поверхности, а не R_1 и R_2 порознь? Дело в том, что легко представить себе такие поверхности, где значения R_1 и R_2 – разные, но их произведения для соответствующих точек одинаковы. Эти поверхности могут выглядеть совершенно по-разному, однако у них будет одинаковая внутренняя геометрия. И если изменять подобную поверхность так, что произведение $R_1 R_2$ изменяться не будет, то обитатели данной поверхности могут и не заметить этих изменений.

Так, двумерный листок бумаги можно свернуть, например, в цилиндр или в конус, т.е. можно придавать ему формы, не разрушающие взаимные положения точек на поверхности. Если же мы просто сомнем листок, то внутренняя геометрия поверхности нарушится. В первом случае координаты точки не меняются, хотя вид поверхности в окружающем пространстве стал другим. Поэтому не изменяется и длина ds между бесконечно близкими точками A и B . Следовательно, для внутренних наблюдателей геометрия их пространства остается евклидовой, но для внешнего наблюдателя она изменяется.

У плоского листка $k = 0$, т.е. $R_1 = R_2 = \infty$. Для того чтобы гауссова кривизна оставалась равной нулю, достаточно, чтобы при любых значениях одного из радиусов значение другого радиуса было бы бесконечно велико. Таких поверхностей может быть бесконечное количество. Для них характерно то, что при сохранении евклидовости для внутренних наблюдателей она нарушается для наблюдателей внешних. Для неевклидовых геометрий такое невозможно, так как кривизна отлична от нуля (плоский листок невозможно изогнуть в сферу или в седловидную поверхность без разрывов), что и показывает произведение $R_1 R_2$.

Такие специфические свойства новых геометрий позволяют сформулировать два возможных толкования упоминавшейся выше философской проблемы отношения геометрии к физическому миру. Согласно первому, принадлежащему Пуанкаре и его позитивистской школе, выбор между различными геометриями должен происходить только на основе простоты описания физического мира, поскольку выводы из простых формул получать легче. Такой геометрией является евклидова, ее и следует сохранить для описания физического мира. Любые отклонения от евклидовости можно объяснить, «исправить» с помощью определенных предписаний, поправок, позволяющих нам увязать данную геометрию с физической ситуацией. Казалось бы, воз-

возможность псевдоевклидовой геометрии подтверждает этот вывод. Тогда можно сказать, что геометрия мира не определяет физический мир, а физический мир не определяет геометрию мира.

Второе толкование, связанное с признанием взаимодействия геометрии и физического мира, предполагает существование других, неевклидовых геометрий. Действительно, наши рассуждения о геометрии касались пространств с измерениями $n = 1$ и $n = 2$. А нельзя ли провести эти рассуждения для трехмерного пространства? Для пространства с любым числом измерений? В двумерном варианте мы еще можем обходиться евклидовой геометрией, но можно ли это делать в трехмерном пространстве, в котором мы живем? И что, если наше пространство, которое кажется нам трехмерным, в действительности имеет большее число измерений?

Мы уже говорили о том, что Риману удалось заложить основы позитивного решения поставленных вопросов. Он обобщил гауссовский метод построения внутренней геометрии искривленной поверхности, опираясь исключительно на представления о бесконечно малом интервале и гауссовой кривизне. Но ему пришлось отказаться от выражений типа (7) и создать собственный язык, подобрав соответствующее описание бесконечно малого интервала.

Введем для двумерной системы гауссовых координат вместо обозначений U и V обозначения X_1 и X_2 . Интервал дуги будем описывать не величинами K , L и M , а в следующем виде:

$$ds^2 = g_{11}dx_1^2 + g_{12}dx_1dx_2 + g_{21}dx_2dx_1 + g_{22}dx_2^2 \quad (13)$$

В этом выражении вместо du_2 пишем dx_1^2 , а вместо $dv_2 - dx_2^2$, K обозначаем как g_{11} , $2L du dv$ (что равносильно $L du dv + L dv du$) выражаем в виде суммы $g_{12}dx_1dx_2 + g_{21}dx_2dx_1$, вместо M пишем g_{22} . Можно заметить, что $g_{12} = g_{21}$. Это равенство сводит число величин g до трех.

Если мы имеем риманово трехмерное пространство с координатными линиями X_1, X_2, X_3 , то очевидно, что

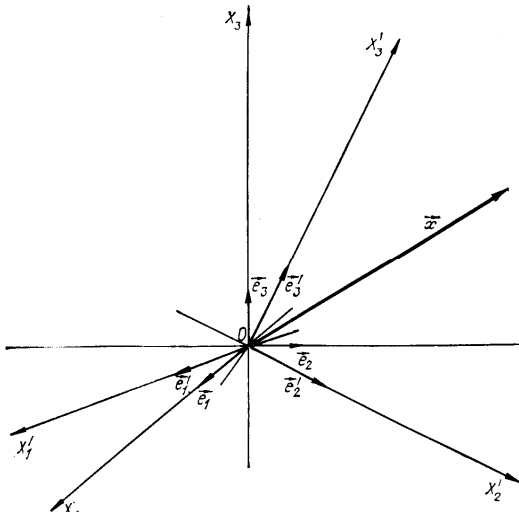
$$\begin{aligned} ds^2 = & g_{11}dx_1^2 + g_{12}dx_1dx_2 + g_{13}dx_1dx_3 + \\ & + g_{21}dx_2dx_1 + g_{22}dx_2^2 + g_{23}dx_2dx_3 + \\ & + g_{31}dx_3dx_1 + g_{32}dx_3dx_2 + g_{33}dx_3^2. \end{aligned} \quad (14)$$

В этом выражении $g_{12} = g_{21}$; $g_{13} = g_{31}$; $g_{23} = g_{32}$. Сами же девять величин g составляют компоненты так называемого метрического тензора, которые можно записать в виде матрицы

$$\begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}.$$

Этот тензор является тензором второго ранга (ранг тензора определяется числом индексов).

Здесь и далее мы будем использовать понятие тензора. Как известно, для описания многих геометрических и физических явлений и процессов используются системы координат. Они позволяют описывать различные объекты при помощи одного или нескольких чисел, а соотношения между объектами – при помощи равенств, связывающих эти числа или системы чисел. Существуют характеристики объектов (например, масса, температура и др.), описываемые одним числом, не изменяющимся при переходе от одной системы координат к другой. Такие величины называют скалярными. Но для описания других величин (например, скорости, ускорения, силы и др.) необходимо пользоваться несколькими числами, как правило по количеству координатных осей. В обычном пространстве их три. Это векторные величины. Как известно, компоненты векторов при переходе от одной системы координат к другой преобразуются по соответствующему закону. Но существует и третий класс величин – тензорные величины, которые являются более сложными по строению и объединяют, обобщают векторные величины и матрицы. Тензорные величины, или тензоры, описываются в каждой системе координат несколькими величинами, называемыми компонентами тензора. При переходе от одной системы координат к другой они также меняются, но законы преобразования сложнее, чем для векторов.



Вектор \vec{x} в системе координат $x_1x_2x_3$ с единичными векторами \vec{e}_1, \vec{e}_2 и \vec{e}_3 и в системе координат $x'_1x'_2x'_3$ с единичными векторами $\vec{e}'_1, \vec{e}'_2, \vec{e}'_3$.

Координаты вектора x_1 (x_1, x_2, x_3 и x'_1, x'_2, x'_3) определяются проекциями в соответствующих системах координат.

Пусть у нас имеется система декартовых координат в обычном (евклидовом) трехмерном пространстве. В основу этой системы положим три единичных вектора $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$. Пусть также имеется произвольный вектор \vec{x} с координатами x_1, x_2, x_3 . Как известно, их можно определить для нашей координатной системы в виде скалярных произведений вектора \vec{x} на единичные векторы $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$:

$$x_1 = \vec{x} \vec{e}_1; x_2 = \vec{x} \vec{e}_2; x_3 = \vec{x} \vec{e}_3$$

или в общем виде $x_i = \vec{x} \vec{e}_i$, где $i = 1, 2, 3$.

Однако числа x_1, x_2, x_3 — координаты вектора \vec{x} — зависят не только от самого вектора \vec{x} , но и от системы координат, к которой данный вектор отнесен. Понятие тензора и позволяет нам избавиться от этой зависимости. Предположим, мы имеем другую систему координат, повернутую около неподвижной точки О, являющейся началом координат первой системы. Во второй системе имеем единичные векторы $\vec{e}'_1, \vec{e}'_2, \vec{e}'_3$. Тогда в новой системе координат $x_1' = \vec{x} \vec{e}'_1$; $x_2' = \vec{x} \vec{e}'_2$; $x_3' = \vec{x} \vec{e}'_3$, или в общем виде $x_i' = \vec{x} \vec{e}'_i$ ($i = 1, 2, 3$).

Но как установить соответствие между x_i и x'_i ? Для этого необходимо найти скалярное произведение соответствующих сочетаний еди-

ничных векторов $\vec{e}_i, \vec{e}_{i'}$. Не будем расписывать их в деталях, с использованием косинусов соответствующих углов, на которые повернулись взаимно оси координат, а воспользуемся сразу общей формой записи: $A_{ij} = \vec{e}_{i'} \cdot \vec{e}_j$ ($i, j = 1, 2, 3$), т.е., например, $A_{12} = \vec{e}_1 \cdot \vec{e}_2$. Отсюда видно, что для разложения нового единичного вектора по старым единичным векторам необходимо выражение

$$\begin{aligned}\vec{e}_{1'} &= A_{11}\vec{e}_1 + A_{12}\vec{e}_2 + A_{13}\vec{e}_3; \\ \vec{e}_{2'} &= A_{21}\vec{e}_1 + A_{22}\vec{e}_2 + A_{23}\vec{e}_3; \\ \vec{e}_{3'} &= A_{31}\vec{e}_1 + A_{32}\vec{e}_2 + A_{33}\vec{e}_3;\end{aligned}$$

или в общем виде

$$\vec{e}_{3'} = \sum_i A_{pi} \vec{e}_i.$$

Таким образом можно получить (предоставим это читателю), что

$$x'_p = \sum_i A_{pi} \vec{x}_i,$$

и будем говорить, что нам дан тензор первого ранга, если в каждой из координатных систем заданы три пронумерованных числа (x_1, x_2, x_3), которые преобразуются при повороте осей по данному закону.

Проводя аналогичные рассуждения для поверхности, определяемой двумя векторами и находящейся в трехмерном пространстве, мы получим выражение тензора второго ранга, который будет задаваться уже девятью числами с двумя индексами и соответствующим законом преобразования:

$$x'_{pi} = \sum_j \sum_q A_{pi} A_{qj} x_{pq} \quad (p, q = 1, 2, 3).$$

Эти рассуждения можно провести и для тензора третьего ранга и т.д. Мы надеемся, что читатель получил определенное представление о тензорах и уловил их суть, и вернемся к нашему рассказу о геометрии риманова пространства.

Можно продолжить по аналогии записи выражений интервала ds для все большего числа измерений, но мы ограничимся общей записью для n измерений:

$$ds^2 = \sum_{ik} g_{ik} dx_i dx_k, \quad (15)$$

где $i, k = 1, 2, 3, \dots, n$; g_{ik} – метрический тензор.

Принято говорить, что выражение (15) задает метрику (т. е. закон измерения расстояний) риманова пространства. Иными словами, риманово пространство можно определить аналитически как такое, в котором для каждой точки задано выражение (15). Ясно, что одно и то же риманово пространство можно представлять в разных координатах, поэтому выражения метрической формы будут различными, но ее величина, по своему смыслу – квадрат элемента длины, при всех преобразованиях координат остается неизменной, что мы уже отмечали.

Для евклидова пространства $g_{ik} = 0$, если $i \neq k$, $g_{ik} = 1$, если $i = k$. Тогда, например, для двумерного евклидова пространства

$$ds^2 = \sum_{ik} g_{ik} dx_i dx_k = g_{11} dx_1^2 + g_{12} dx_1 dx_2 + g_{21} dx_2 dx_1 + g_{22} dx_2^2$$

Но $g_{11} = g_{22} = 1$, а $g_{12} = g_{21} = 0$, тогда $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2$. Как мы уже знаем, кривизна этого пространства равна нулю.

Очевидно, что для описания пространства определения его метрики недостаточно. Необходимо указать, как определяется ее кривизна в рамках того же, тензорного, формализма, и какова ее связь с метрикой, т. е. фактически ответить на вопрос, можно ли выявить по известному элементу длины, какова геометрия пространства – евклидова или нет. Попытаемся сделать это.

Выше мы уже отмечали тот факт, что риманово пространство в бесконечно малых окрестностях точки можно считать совпадающим с евклидовым пространством. Но насколько велико это совпадение, как определить его границы, за пределами которых становится явным вид пространства? Для этого предположим, что каждой геодезической, исходящей из точки A , соответствует линия евклидовой плоскости, касательная к римановой поверхности в данной точке. В достаточно малой окрестности точки A можно установить такое соответствие между геодезическими и лучами, при котором длины дуг геодезических и соответствующих им прямых лучей будут равны. В этом случае, как устанавливает дифференциальная геометрия, между элементами ds риманова и ds_0 евклидова пространств будет такое соотношение (для n -мерного пространства):

$$\begin{aligned}
 ds^2 = ds_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{m/ki} R_{m/ki} (x^m - x_A^m)(x^k - x_A^k) dx^l dx^i + \\
 + \sum_{m/ki} \varepsilon_{m/ki} (x^m - x_A^m)(x^k - x_A^k) dx^l dx^i
 \end{aligned} \quad (16)$$

где $\varepsilon \rightarrow 0$ при $x' \rightarrow x_A^i$; $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Отсюда видно, что $ds - ds_0$ имеет порядок не ниже, чем $\sum_i (x^i - x_A^i) ds_0$. Добиться более высокого совпадения между римановым и евклидовым пространствами невозможно. Поэтому коэффициенты R_{mki} и характеризуют отличие риманова пространства от евклидова. Эти коэффициенты являются компонентами так называемого тензора кривизны, или тензора Римана – Кристоффеля, который определяется через метрический тензор g_{ik} .

Рассмотрим простейший случай, когда число измерений $n = 2$. Тогда индексы принимают только два значения: 1 и 2. Но у тензора кривизны – четыре индекса (это тензор четвертого ранга): m, l, k, i . Следовательно, осуществляя различные перестановки двух значений четырех индексов, мы получим 16 компонентов тензора кривизны. Поскольку компоненты обладают свойствами симметрии (симметричные компоненты равны), что мы уже видели на примере такого метрического тензора, как тензор второго ранга, число компонентов можно уменьшить.

Например, $R_{1212} = -R_{2112}$, так как перестановка двух индексов у компонента дает снова то же значение, но с обратным знаком. Если применить это правило к компоненту R_{1112} (т.е. переставить местами два компонента, имеющих значение 1), то получим, что $R_{1112} = -R_{1112}$. Но равным самому себе с обратным знаком может быть только нуль. Следовательно, все компоненты с двумя равными первыми индексами обращаются в нуль. Это же относится и к компонентам, у которых имеет одинаковые значения и вторая пара индексов: $R_{1212} = -R_{1212}$.

Анализ индексов всех остальных компонентов приводит нас к выводу, что мы фактически можем учитывать только один компонент R_{1212} , так как все остальные либо равны нулю, либо равны этому компоненту. Поэтому кривизна двумерного пространства вполне характеризуется значением одного компонента тензора кривизны (т.е. одним числом), которая и является гауссовой кривизной. А поскольку тензор

кривизны выражается через метрический тензор, постольку кривизна пространства связана с его метрикой.

Для случая трехмерного пространства общее число компонентов тензора кривизны будет 81. По это число с использованием уже упомянутых правил симметрии и еще одного, согласно которому компонент тензора кривизны остается неизменным, если поменять местами первую пару индексов со второй, можно свести к шести. Для четырехмерного пространства число независимых компонентов сводится с 256 до 20.

Таким образом, мы получили обобщенную геометрию пространства, для которой евклидова геометрия, гиперболическая геометрия Лобачевского и сферическая геометрия Римана являются частными случаями. Интересен тот факт, что после разработки данной геометрии очень долго ни у кого из исследователей не возникало и мысли применить ее для описания физического пространства: вполне достаточной для этих целей представлялась геометрия Евклида. Такой шаг впервые предпринял Эйнштейн при разработке общей теории относительности, обобщающей принцип относительности на неинерциальные системы отсчета. Принцип относительности, утверждающий равноправие всех систем отсчета, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, а также постулат постоянства скорости света в пустоте независимо от скорости движения источника и приемника света легли в основу специальной теории относительности.

По специальной теории относительности написано много книг, как популярных, так и сугубо научных, и потому мы не будем останавливаться на ее изложении, а ограничимся только описанием представления о пространстве, которое составляет основу этой теории. Пространство специальной теории относительности называют обычно пространством Минковского. Оно евклидово, изотропно и однородно. Такие свойства определяются постулатом о постоянстве скорости света: действительно, $c = \text{const}$ только тогда, когда нет никаких возмущений в пространстве, которые могли бы изменить величину c . Если есть возмущения, но $c = \text{const}$, то эти возмущения можно в таком случае не учитывать, т.е. можно считать пространство пустым, изотропным и однородным.

Мы здесь не будем обсуждать истинность постулата о постоянстве скорости света. На наш взгляд, в рамках теории относительности, как специальной, так и общей, доказать его истинность невозможно. Примем за аксиому и будем считать, что $c = \text{const}$ во всех теориях, которые строятся на основе специальной и общей теорий относительности или

используют их формализмы и понятийный аппарат. У нас есть подозрение, что этот постулат вообще невозможно доказать в рамках существующих знаний (как и постулат Евклида о параллельности), и он поэтому носит конвенциональный характер: так удобно, и в пределах современных знаний он позволяет получать удовлетворительные следствия из соответствующих теорий. Но, возможно, в будущем будут разработаны теории, выходящие, так сказать, за пределы s и включающие специальную и общую теории относительности как предельные случаи, подобно тому, например, как первая включает в себя классическую механику Ньютона, когда $v \ll c$, возможно, описывать эти теории будут явления, для которых c – лишь нижний предел передачи сигналов и взаимодействий.

Однако вернемся к пространственным представлениям в специальной теории относительности. Как известно, в классической механике время универсально по отношению к любой системе отсчета. В случае $v \sim c$ положение меняется: единого универсального времени для всех систем отсчета не существует. Если считать, что законы физики для всех систем координат должны формулироваться независимо от самих этих систем, а скорость света – величина постоянная, то, как показал в 1904 году Лоренц, время при переходе от одной системы координат к другой необходимо отсчитывать не по галилееву преобразованию $t' = t$, а по формуле

$$t' = \frac{t - xv/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Из этой формулы видно, что пространство и время нельзя понимать независимыми друг от друга: как отдельно пространственный трехмерный континуум и отдельно одномерный временной континуум.

Немецкий математик и физик Герман Минковский в 1908 году предложил объединить пространство и время в единый четырехмерный пространственно-временной континуум. В четырехмерном пространстве Минковского, названном им четырехмерным миром, каждому элементу пространства соответствует событие, происходящее в определенном момент времени в определенной точке пространства, а линия, по которой движется материальный объект, называется мировой линией. Эти события имеют физическую реальность независимо от системы координат, а физические законы инвариантны относительно преобразований Лоренца. Кроме того, Минковский показал, что специальная теория относительности может рассматриваться как гео-

метрии пространства-времени, причем для нее достаточно плоского, неискривленного пространства-времени. Посмотрим, как в этом пространстве определяется элемент мировой линии ds , называемый пространственно-временным интервалом, и каково его свойство.

Преобразования Лоренца (в нашем случае преобразования координат), как известно, записываются в простейшем виде следующими формулами (даем их без вывода, варианты которого широко представлены в литературе по специальной теории относительности, и читателю не составит труда с ними познакомиться):

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; x'_2 = x_2; x'_3 = x_3; t' = \frac{t - x_1 v^2/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (17)$$

или

$$x_1 = \frac{x'_1 + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; x_2 = x'_2; x_3 = x'_3; t = \frac{t' + x'_1 v^2/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (18)$$

Эти формулы записаны для случая прямолинейного равномерного движения одной системы координат относительно другой, и поэтому координаты x_2 и x_3 неизменны. Выше мы уже указывали, что для любой плоской геометрии $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$. По предложению Минковского, $x_4 = ict$, где i – мнимая единица. Так что

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2 - c^2 dt^2. \quad (19)$$

Если мы подставим в выражение (19) соотношения (18), то получим

$$\begin{aligned} dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - c^2 dt^2 &= \left(\frac{dx'_1 + v dt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right)^2 + dx_2'^2 + dx_3'^2 - \\ &c^2 \left(\frac{dt' + v dx'_1/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right)^2 = dx_1'^2 + dx_2'^2 + dx_3'^2 - c^2 dt'^2 \end{aligned}$$

т.е. $ds_2 = ds'_2$. Это означает, что пространственно-временной интервал инвариантен относительно преобразования координат. Свойство инвариантности интервала имеет большое значение, так как оно показывает, что скорость света c – одна и та же в обеих системах координат. Если же мы будем рассматривать только пространственный интервал dx , то

увидим, что его величина меняется при переходе от одной системы координат к другой по закону

$$dx' = dx / \sqrt{1 - v^2 / c^2},$$

или

$$dx = dx' / \sqrt{1 - v^2 / c^2}.$$

То есть пространственный интервал – величина инвариантная, что еще раз подтверждает необходимость совместного рассмотрения пространства и времени. Выражение (19) полностью задаст метрику пространственно-временного континуума. Метрику можно задать и уже известным нам тензорным выражением

$$ds^2 = g_{ik} dx_i dx^k \quad (g_{ik} = g_{ki}) \quad (20)$$

И поскольку в случае специальной теории относительности $g_{11} = g_{22} = g_{33} = 1$, $g_{44} = c^2$; $g_{ik} = 0$ ($k \neq i$) (пространство плоское), выражение (20) соответствует формуле (19). Геометрия такого пространства называется псевдоевклидовой. И мы вновь возвращаемся к проблеме соответствия пространства, описываемого этой геометрией, реальному пространству.

На первый взгляд концептуальный мир Минковского и реальное пространство полностью соответствуют друг другу. Действительно, описание физических процессов в терминах пространства-времени Минковского отвечает имеющимся наблюдательным и экспериментальным данным о процессах. При предельном переходе ($v \ll c$) совершается естественный переход к евклидову пространству и ньютоновской физике. В связи с этим многие физики и философы утверждают, что мир Минковского – это не просто абстрактный объект, используемый в физической теории, а один из видов физической реальности. Но тогда и евклидово пространство имеет все основания быть причисленным к видам физической реальности. Сам же вид физической реальности, таким образом, определяется предельными переходами, и каждую физическую теорию можно отнести к соответствующей физической реальности.

Однако в таком случае можно заключить, что существует множество реальных физических пространств, единого же физического пространства не существует. Тогда вопрос о пространстве мира неправилен, некорректен. Но не будем спешить с такими выводами и вер-

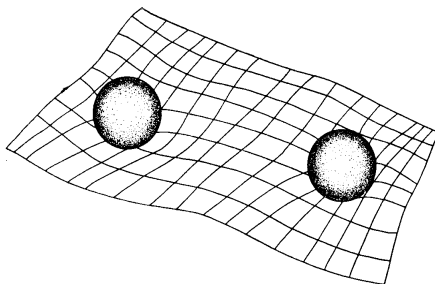
немся к обсуждению проблемы реальности пространства, точнее, проблемы соответствия концептуального и реального пространств, но сначала посмотрим, как описывается пространство в других физических теориях.

Выше мы уже говорили, что специальная теория относительности построена на двух принципах, один из которых утверждает равноправность систем отсчета, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, т. е. инерциальных систем. Иными словами, инерциальное движение относительно, а какого-либо абсолютного движения, относительно которого можно описывать все другие движения, не существует, и все физические законы в инерциальных системах не зависят от скорости наблюдателя, если она постоянна. Но в практике мы встречаем множество движений с ускорением. Таковы, например, все вращательные движения, а также движения под действием гравитации. Значит ли это, что в подобных системах происходит изменение форм законов при переходе от инерциальных систем к неинерциальным? Или можно обобщить принцип относительности на все системы отсчета? И можно ли геометризовать такую физику, т. е. выявить соответствующее ей пространство? На все эти вопросы, как и на многие другие, отвечает общая теория относительности (подробнее см. гл.2).

Разработка общей теории относительности и ее экспериментальные подтверждения окончательно закрепили переход от представления о пространстве как о пустом и абсолютномместилище мира к представлению о пространстве как об объекте, структура которого определяется материей. Тем самым было получено физическое подтверждение философскому представлению о пространстве мира как об атрибуте материи. Но именно физические взгляды на пространство породили новые проблемы и собственно физического, и философского плана. Что касается физических проблем, то речь идет прежде всего о пространстве Вселенной, так как на первый взгляд именно гравитационные взаимодействия являются ведущими в формировании ее структуры.

В 1917 году на основе общей теории относительности Эйнштейн создал стационарную замкнутую сферическую модель Вселенной. Характерной чертой этой модели была конечность пространственного сечения, хотя с точки зрения внутренней геометрии пространство представляется неограниченным. Стационарная замкнутая модель Вселенной была получена в результате решения уравнений общей теории относительности. Но решение этих уравнений привело к определенным трудностям. Дело заключалось в том, что Эйнштейн, считая

бесконечность Вселенной и евклидовость на бесконечности неприемлемыми с позиций общей теории относительности, обратился к принципам релятивистской теории тяготения. Однако в дальнейшем оказалось, что предположение Эйнштейна о пространственной конечности Вселенной основывалось не на принципах релятивистской теории тяготения, а на постулате статичности пространства.



Согласно общей теории относительности, материальные объекты искривляют пространство-время, и кривизна его определяет гравитационное взаимодействие между ними. Величина кривизны, в свою очередь, определяется массами объектов и их взаимным расположением (грубый аналог – резиновая плоскость с положенными на нее телами).

Для получения статических решений Эйнштейн вынужден был внести космологический λ -член, так как в противном случае уравнения поля не имеют соответствующего решения. Уравнения гравитационного поля с космологическим членом можно записать в виде

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} + \Lambda g_{ik} = \chi T_{ik}. \quad (21)$$

Здесь мы хотели бы обратить внимание читателя на тот факт, что уравнения Эйнштейна не выведены, а «сконструированы», открыты. Такой «конструкторский» подход вообще характерен для космологии, и это обусловило появление множества космологических теорий, благодаря сравнению которых друг с другом и с наблюдательными и экспериментальными данными, а также в какой-то мере благодаря пристрастиям исследователя, выделяется и развивается наиболее адекватная теория, порой совершенно новая, позволяющая ответить на те вопросы, на которые невозможно ответить с помощью других космологических теорий.

Но вернемся к уравнениям (21). Здесь возможны три случая решения и соответственно три модели как Вселенной, так и ее пространства. Одно из решений дает нам плоский мир Минковского и не имеет отношения к релятивистской космологии. Это просто удобное для решения определенного класса задач концептуальное пространство.

Другое решение дает нам собственно мир Эйнштейна, пространственная часть которого представляет собой сферическое или эллиптическое пространство постоянной положительной кривизны, причем радиус кривизны пространства $R = 1/\sqrt{\Lambda}$ и имеет порядок $10^{12} - 10^{13}$ астрономических единиц, а средняя плотность материи $\rho = c^2 \Lambda / (4\pi\gamma)$ и имеет величину порядка 10^{-26} г/см³. Пространственно-временной мир Эйнштейна полностью статичен. Его можно представить как цилиндрический четырехмерный мир с неограниченной осью времени, т.е. по этой модели временное сечение пространственно-временного континуума в отличие от пространственного сечения является бесконечным.

Третье решение дает так называемый мир де Ситтера. Здесь пространственно-временной мир конечен, но временное сечение бесконечно и представляет собой однополостной гиперболоид, открытый по направлению линии времени. В отличие от мира Эйнштейна мир де Ситтера не является полностью статичным, но он пустой, в нем нет материи.

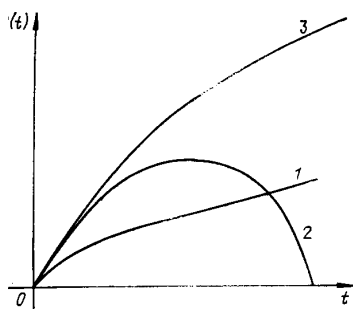
Обе эти модели Вселенной – мир Эйнштейна и мир де Ситтера – имеют существенные недостатки, и поэтому в дальнейшем от них отказались, сейчас они представляют в большей мере исторический интерес.

В 1922 году русский ученый А.А. Фридман, рассматривая уравнения гравитационного поля, показал, что Вселенная не остается неизменной во времени, а должна расширяться или сжиматься. Он пришел к выводу, что для нестационарной модели Вселенной «возможны случаи, когда радиус кривизны мира, начиная с некоторого значения, постоянно возрастает с течением времени; возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в ничто), затем, снова из точки, доводит радиус свой до некоторого значения, далее, опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т.д.»

В сущности, на основе фридмановских нестационарных решений уравнений гравитационного поля без Λ -члена возможно построение трех моделей Вселенной, которые, по предположению, подтверждаемо-

му наблюдениями, изотропны и однородны. В этом случае вид Вселенной определяет величина средней плотности материн во Вселенной $\rho_{\text{ср}}$.

При $\rho = \rho_{\text{кр}} \sim 10^{-29} \text{ г/см}^3$ имеем бесконечный плоский мир Эйнштейна – де Ситтера с евклидовой геометрией. В этом мире скорость изменения расстояния V пропорциональна самому расстоянию R : $V = HR$, причем коэффициент пропорциональности H сам изменяется во времени пропорционально величине $1/t$ и представляет собой, как было выяснено впоследствии, постоянную Хаббла. Расстояние между галактиками, т.е. расширение возрастает по закону $R = c^3 \sqrt{t^2}$, где c – постоянная величина.



Зависимость расширения Вселенной от значения ρ :

$$\rho = \rho_{\text{кр}} (1), \rho > \rho_{\text{кр}} (2), \rho < \rho_{\text{кр}}$$

Если $\rho > \rho_{\text{кр}}$, то имеем замкнутое пространство положительной кривизны с римановой геометрией, т.е. закрытую модель Вселенной. В этой модели радиус кривизны и расстояния изменяются циклически. Иными словами, Вселенная сначала расширяется до определенного значения радиуса, а потом сжимается.

При $\rho < \rho_{\text{кр}}$ кривизна пространства отрицательная, само пространство имеет метрику Лобачевского и модель Вселенной носит открытый характер гиперболического типа. В данном случае скорость расширения Вселенной больше, чем в первом.

Итак, на основе нестатических решений уравнений Эйнштейна без λ -члена можно построить три модели Вселенной. Общим в этих моделях является наличие «начала» – момента времени, когда $t_0 = 0$.

Очевидно, что для выбора модели, наиболее соответствующей реальной Вселенной, необходимо знать, какова средняя плотность распространенной в ней материи. Отметим, что попытки оценить среднюю плотность материи по Вселенной дают величину, близкую к критической. Поэтому пока нельзя достаточно однозначно решить, справедлива открытая модель Вселенной или закрытая. Может оказаться также, что

плотность на самом деле неравномерна и поэтому геометрия мира будет гораздо сложнее. Нестационарные модели Вселенной являются наиболее удовлетворительными, пока при изучении Вселенной учитывается действие лишь сил тяготения. Вселенная статична только тогда, когда имеются две уравнивающие друг друга силы – притяжения и отталкивания, а нам известны лишь гравитационные силы, играющие главенствующую роль в процессах, происходящих во Вселенной.

В 1927 году аббат и математик профессор Жан Леметре, бывший с 1960 года и до своей смерти в 1966 году президентом Ватиканской Академии наук, разработал космогонические аспекты нестационарной «открытой» модели Вселенной. В противовес господствующим в то время гипотезам об образовании галактик из холодной рассеянной материи, основанным на ньютоновской механике, Леметре утверждал, что «мир, по всей вероятности, произошел не из первичной туманности, а скорее всего, из своего рода первоатома, продукты распада которого и образуют современный мир».

Модель Леметре является конкретной и опирается на привычные представления, поэтому она наиболее распространена. При дальнейшей разработке данной концепции с учетом новых теоретических и эмпирических результатов было показано, что «первоатом» был чрезвычайно плотным и горячим. Что же происходило в «первоатоме» до расширения и в первый период его расширения, нам пока неизвестно, и описать достоверно его состояние мы не можем, можем только строить гипотезы.

В этот «начальный» момент времени плотность материи была бесконечно большой, а радиус кривизны пространства – бесконечно малым, а значит, бесконечно большой была кривизна. В данном случае метрика должна быть сингулярной, т.е. свернутой, в пределах которой не действуют обычные физические законы. К сингулярности же неприменимы обычные представления о пространстве-времени. На «начальный» момент времени известные нам законы физики не могут быть экстраполированы, так как они сформулированы как законы поведения вещества и поля в пространстве и времени, а в «начальный» момент существования Вселенной в этом «первоатоме» нет, очевидно, ни поля, ни вещества, ни пространства, ни времени в обычном понимании.

Взорвавшись, «первовещество» стало стремительно расширяться, плотность его – уменьшаться, а само оно – охлаждаться. На определенном этапе развития это послужило причиной последовательного образования и взаимодействия адронов и лептонов, что вызвало значи-

тельный рост излучения. В результате при дальнейшем расширении, а следовательно, и охлаждении появилась возможность для образования атомов, для формирования вещества. Начали появляться звезды, скопления звезд и галактики.

Извратив эту гипотезу, креационисты стали утверждать, что она научно доказывает наличие акта творения мира. Неотомист Мушалек прямо заявляет, что в данной гипотезе описывается картина творения мира Богом, в Тиволье, тоже неотомист, пишет: «Вселенную создал Бог». И далее: «Что же касается уточнений о том, как мир был создан: в нынешнем состоянии или вследствие изменений первоначальных форм, – вера этому не учит». То есть «Богу – Богово»: высший разум дал внешний толчок, послужил первопричиной развития, дал миру законы, – а все остальное – науке: пусть она выявляет эти законы, описывает и объясняет процессы материального мира.

В 1951 году папа Пий XII в своей речи после рассмотрения модели Вселенной Фридмана – Леметре заявил: «Итак, сотворение мира во времени – и поэтому есть творец, а следовательно, есть Бог. Вот те сведения, которые, хотя и не в категорической и законченной форме, мы требуем от науки и которые современное человечество ожидает от нее».

Правомерны ли подобные выводы из гипотетической модели расширяющейся Вселенной? Разумеется, нет. Лишь путем спекулятивных построений, использующих неполноту наших знаний, путем компилятивных рассуждений можно «доказать» наличие творца, Бога. Основным тезисом, на котором базируется «доказательство» необходимости первотолчка, является утверждение, что развитие, расширение Вселенной, создание нашего мира начинается со взрыва стабильной «первоатома», характеризуемого бесконечно малыми размерами и бесконечно большой плотностью. Данное состояние якобы является началом времени, а представление о времени до этого начала лишено какого-либо смысла. Действительно, в таком случае необходимо вводить антинаучное понятие акта творения. Но хотя подобная модель «начала» Вселенной и соответствует полученному А.А. Фридманом решению уравнений тяготения Эйнштейна, она не соответствует теоретическим и эмпирическим данным.

Дело в том, что нет никаких оснований считать справедливым абсолютную экстраполяцию решений Фридмана на область чрезвычайно малых масштабов и чрезвычайно больших плотностей. На сегодняшний день удалось доказать применимость существующих представлений о пространстве и времени, о гравитационном поле лишь к расстоя-

ниям до пределов порядка 10^{-10} см и ко времени до пределов порядка $33 \cdot 10^{-26}$ с. Для меньших промежутков времени и меньших расстояний, кроме того, необходимо учитывать квантовые эффекты, чего общая теория относительности – теория тяготения – не дает. Ясно, что существует некая область в пределах самого «начала», по отношению к которой уравнения теории тяготения недействительны.

Однако это не означает, что модель Вселенной Фридмана – Леметре ошибочна. Она, как и всякая другая модель, отражая объективное положение вещей с некоторой степенью точности, является ступенькой в познании мира. построенная на основе известных нам теоретических положений и экспериментальных данных, эта модель неминуемо в процессе развития науки будет пополняться новыми данными, в нее будут вноситься коррективы. На смену модели Фридмана – Леметре придет новая, более точная, возможно, даже отрицающая ее. К тому же рассматриваемая модель – это лишь одна из возможных моделей. Помимо решений Фридмана могут быть и другие решения уравнений Эйнштейна, а следовательно, и другие модели Вселенной. Во всех этих случаях в прошлом размеры Вселенной достигали минимума, отличного от нуля, а плотность – максимума. К такому состоянию Вселенная пришла при сжатии.

Таким образом, встает проблема выбора модели Вселенной. Здесь существуют разные мнения. Так, В.Л. Гинзбург считает, что наиболее обещающими являются модели с «особенностью» (бесконечно большой плотностью и бесконечно малыми размерами. – *Авт.*) в прошлом, причем район «особенности» должен рассматриваться с учетом квантовых эффектов. Тем самым время в прошлом оказывается не столько конечным, сколько неопределенным. Сходные представления разрабатывают Джон Уилер при построении геометродинамики и некоторые другие авторы.

Современные исследования, связанные с концепцией великого объединения, как раз и привели к появлению моделей Вселенной, более детально, чем предшествующие, описывающих поведение Вселенной во время, максимально близкое к «первозрыву». Эти модели, в которых учитываются квантовые эффекты, разрабатываются в русле так называемого сценария раздувающейся Вселенной. Исследования в данном направлении пока еще не получили соответствующего методологического анализа и философского обобщения, но несомненно, что они имеют большое философское значение.

Охарактеризованные выше модели Вселенной при всех их достоинствах не разрешают целого ряда весьма фундаментальных проблем, в том числе непосредственно связанных с методологией исследования. Одной из таких проблем является уже названная проблема сингулярности, определяемая тем, что Вселенная начала развиваться от состояния, характеризуемого бесконечно большой плотностью. Отсюда возникает вопрос: что было до этого? Философские, да и физические представления не позволяют смириться с тем, что когда-то якобы не было ни времени, ни пространства.

Другая проблема связана с евклидовостью пространства. Согласно общей теории относительности, геометрия нашего мира может, а в районе тяготеющих масс и должна сильно отличаться от евклидовой геометрии. С одной стороны, Вселенная может быть замкнутой, иметь конечные размеры и топологию сферы, представляя собой трехмерный аналог двумерной замкнутой сферы. Параллельные линии в такой Вселенной пересекаются. С другой стороны, Вселенная может быть открытой, гиперболической, и параллельные линии в таком мире расходятся. Однако геометрия нашего мира очень близка к евклидовой.

В рассмотренных моделях Вселенной не решается и проблема размерности пространства. Сейчас существуют теории, в соответствии с которыми наше пространство на самом деле не трехмерно, а имеет какую-то более высокую размерность. При этом по всем направлениям, кроме трех, пространство как бы свернуто в тонкую трубку, из-за чего мы и можем двигаться только в трех измерениях.

Очень важна также проблема однородности. В больших масштабах распределение вещества в значительной степени равномерно, однако имеются и «сгущения» плотности, причем очень значительные: галактики, звезды, планеты и т.п. Почему так?

Все эти проблемы являются ключевыми для моделей Вселенной, своеобразным пробным камнем, на котором проверяется степень адекватности моделей. Как известно, многие модели испытания не выдержали. Решение поставленных проблем оказалось возможным только в так называемой единой теории поля, создаваемой в рамках теории великого объединения, или теории супергравитации.

Успехи, достигнутые при первых подходах к созданию теории великого объединения – в рамках теории слабых и электромагнитных взаимодействий, – во многом были обусловлены введением в эту теорию понятия скалярного поля ϕ . Истины ради следует сказать, что по-

ле непосредственно еще не обнаружено. Однако несмотря на это, представления о нем широко используются в современной физике, так как именно общие физические закономерности потребовали формулирования соответствующего понятия. И сейчас скалярное поле наряду с другими физическими полями (гравитационным, электромагнитным, электростатическим и т.д.) выступает одной из составных частей современной физической картины мира.

Понятие скалярного поля было введено из следующих соображений. В квантовой физике имеется закон, в соответствии с которым радиус действия силы обратно пропорционален массе частиц, являющихся переносчиками взаимодействия. Известно, что дальнее действие электромагнитных сил связано с нулевой массой фотона, которым обмениваются электрические заряды. А так как слабые взаимодействия характерны только для очень малых расстояний, то и массы частиц – переносчиков этого взаимодействия должны быть соответственно большими. Именно для объяснения такой экспериментально доказанной ситуации приходится вводить в теорию понятие скалярного поля.

При отсутствии скалярного поля электромагнитные и слабые взаимодействия друг от друга почти не отличаются. Но появление поля ϕ , которое не сказывается на электромагнитных свойствах вещества и не влияет на электромагнитные взаимодействия, приводит к тому, что возрастает масса промежуточных бозонов и уменьшается радиус действия слабых сил. При этом следует подчеркнуть, что масса промежуточных бозонов возникает вследствие нарушения симметрии. Если такого нарушения нет, то эти бозоны классифицируются как безмассовые и равноправные члены того же семейства, что и фотоны. Иными словами, промежуточные бозоны – «родственники» фотонов, приобретающие свои особенности только в скалярном поле.

Скалярное поле отличается от других полей своей «простотой»: оно не выделяет направления в пространстве, одинаково в любой точке пространства и для движущегося, и для неподвижного наблюдателя. Таким образом, скалярное поле неотличимо от стандартного состояния вакуума, но может иметь отличное от нуля среднее значение в состоянии вакуума. Именно за счет этого поля приобретают массы фермионы и промежуточные бозоны, а единое электрослабое взаимодействие оказывается разделенным на взаимодействия слабые и электромагнитные.

При нулевой температуре состояние нарушенной симметрии с отличным от нуля средним значением скалярного поля энергетически более выгодно. Однако с повышением температуры квантовые флуктуации будут разрушать так называемую ферромагнитную фазу вакуума, и при температуре 10^{15} К симметрия должна восстанавливаться, а скалярное поле исчезать. В теории великого объединения выдвигается гипотеза, что такая же ситуация характерна и для сильных взаимодействий.

На основе этих представлений появилась возможность дать описания процессов, которые, как предполагается, происходили на ранних стадиях эволюции Вселенной, когда плотность вещества могла достигать до так называемой планковской плотности, равной 10^{94} г/см³.

Согласно теории великого объединения, величина скалярного поля ϕ , заполняющего все пространство и меняющего свойства элементарных частиц в нем, определяется положением минимума ϕ_0 потенциальной энергии этого поля. Но таких минимумов, причем разной глубины, много. Отсюда делается предположение, что при этих условиях Вселенная должна разбиваться на множество областей – доменов, внутри каждого из которых значения скалярных полей соответствуют различными минимумам, а между областями с различными скалярными полями должны возникать так называемые доменные стенки с чрезвычайно высокой плотностью энергии. Последнее приводит космологию к серьезным затруднениям методологического и теоретического плана. Попытки обойти эти затруднения, вероятно, не увенчаются успехом, пока не будет решена проблема образования большого количества сверхтяжелых монополей, плотность которых во Вселенной в настоящее время должна быть недопустимо высокой.

Совершенствование концепции великого объединения и применение квантовых методов в космологических исследованиях поставили перед космологией еще более сложные проблемы – проблемы гравитино и нарушения симметрии в суперсимметричных теориях. Решение этих и многих других проблем стало возможным при введении в представления о развитии Вселенной уже упоминавшегося сценария раздувающейся Вселенной, в котором скалярное поле играет ведущую роль.

По этому сценарию, на ранних стадиях развития Вселенной величина скалярного поля была отличной от устойчивого равновесного значения, соответствующего минимуму потенциальной энергии. В общем случае это поле не было однородным в разных, но достаточно удаленных друг от друга частях Вселенной. И хотя скалярное поле

имеет тенденцию к установлению равновесного состояния, смещение к этому состоянию поначалу происходит очень медленно, что приводит к почти постоянной плотности энергии поля. Одновременно за счет расширения Вселенной быстро падает плотность энергии обычного вещества. В результате полная плотность энергии определяется уже не энергией элементарных частиц, а энергией скалярного поля.

Однако в соответствии с общей теорией относительности плотность энергии вещества определяет темп расширения Вселенной. И если изменения плотности энергии очень медленны, то Вселенная начинает развиваться экспоненциально. Тогда области с большими неравновесными скалярными полями расширяются весьма значительно. И чем дальше значение поля от ϕ_0 , тем расширение больше. При подходе поля ϕ к равновесному состоянию ϕ_0 происходят колебания значений поля вблизи равновесного значения. При этом энергия поля превращается в тепловую энергию элементарных частиц, генерируемых полем. После того как перечисленные процессы заканчиваются, эволюция Вселенной принимает вид, описываемый обычной моделью расширяющейся Вселенной.

Именно введение в обычную модель Вселенной представления о стадии раздувания и позволяет решать проблемы космологии. Дело в том, что процесс усиления вакуумных квантовых эффектов скалярного поля, происходящий во время раздувания, приводит к появлению в плотности Вселенной неоднородностей, из которых потом формируются галактики. Учет этого эффекта делает возможным решение проблемы горизонта в области наблюдаемой плотности вещества, близкой к критической. Решаются также проблемы возникновения магнитных монополей, трехмерности пространства, доменных стенок (границ с чрезвычайно высокой плотностью энергии, разделяющих области с минимальными полями ϕ), проблемы евклидовости пространства и т.д.

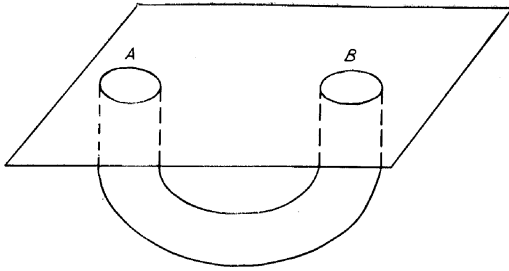
Что же касается проблемы сингулярности, то она во многом еще остается нерешенной. Предполагается, что построение квантовой теории гравитации и квантовой космологии, а также детальная разработка проблемы времени в последней и выяснение принципиальной роли наблюдателя в теории измерений, создаваемой на основе квантовой механики, позволяет решить проблему сингулярности в целом. Однако уже сейчас имеются некоторые достижения, связанные именно со сценарием раздувающейся Вселенной.

В самом общем случае, как можно видеть, пространство Вселенной на бесконечности однородно, но в каждой отдельной области эта

однородность нарушается, а при достижении достаточно малых масштабов вновь «восстанавливается». Таким образом, однозначно говорить об однородности пространства мира нельзя. Кроме того, использование преобразований Лоренца позволяет рассматривать пространство как относительно изотропное. Так, начало координат ничем не выделяется среди других точек пространства: любую фиксированную точку можно при помощи преобразований Лоренца перенести в начало координат. Но эта изотропность именно относительная, точнее, математическая, изотропность математического (концептуального) представления реального пространства. Изотропность же самого реального пространства нам представляется недоказанной. Во всяком случае локально реальное пространство не является изотропным. Можно сказать, что пространство Вселенной изотропно почти, но не точно.

В контексте рассказа о структуре и свойствах пространства определенный интерес представляют его топологические свойства, т.е. такие, которые не меняются при деформациях пространства, допускающих любые растяжения без разрывов. К топологическим свойствам пространства относятся его мерность (количество измерений) и непрерывность (континуальный порядок). Те свойства, что связаны с измерением длины (метрика, кривизна), а также изотропность и однородность, относятся к метрическим свойствам пространства. Топологические свойства обладают большей фундаментальностью, чем метрические. Это проявляется, например, в том, что если бы все тела во Вселенной увеличились в одинаковое количество раз, то подобного изменения, скорее всего, никто бы и не заметил. В то же время нарушение непрерывности (порядка) привело бы к нарушению близкодействия, что уже можно было бы обнаружить.

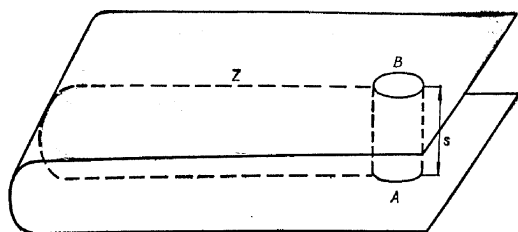
Как предполагают американский физик Карл Торн со своими сотрудниками и советский физик И.Д. Новиков, топологические свойства пространства позволяют с помощью сильных гравитационных полей так его «искривить», что в нем появится так называемый «кротовый ход», или «червоточина», или, что лучше звучит, горловина в виде ручки. Двумерная аналогия такого пространства — два отверстия в плоскости, соединенные горловиной. В принципе в эти отверстия можно входить и выходить в любом направлении и проходить через горловину. Расстояние же между отверстиями A и B может быть произвольным и не зависеть от длины горловины. Иными словами, пространство можно так «согнуть», что расстояние между отверстиями A и B по плоскости может быть значительно большим, чем по горловине.



Ручка-горловина («кротовый ход») в плоском двумерном пространстве.

Отсюда вытекают интересные следствия, которые имеют пока чисто теоретическое значение и представляют широкое поле деятельности писателям-фантастам. Первое следствие связано с теоретическим решением проблемы путешествий по Вселенной, второе – с возможным существованием «машины времени». Впрочем, фантасты в известной степени уже предсказали и «разработали» модели такого рода при описании различных межзвездных и межгалактических путешествий.

Если первое следствие кажется очевидным, то второе необходимо пояснить. Воспользуемся здесь иллюстрацией И.Д. Новикова, предложившего один из вариантов «машины времени». Если одно отверстие будет быстро двигаться по отношению к другому, например B относительно A , тогда, согласно специальной теории относительности, часы в B отстанут от часов в A . Допустим, что по часам, находящимся в A , пройдет пять лет, а по часам, находящимся в B , – пять дней. Но если смотреть из отверстия B на отверстие A через горловину, то, поскольку часы в A находятся рядом с часами в B , их показания почти не будут отличаться. Пусть теперь путешественник движется от A к B во внешнем пространстве. Достигнув B , где часы показывают пять дней, и заглянув в это отверстие, через горловину он увидит часы в A , которые тоже покажут пять дней. Затем, пройдя по короткой горловине, он выйдет в A практически в тот же момент времени, т.е. когда часы в A показывают, что прошло пять дней. Таким образом, путешественник вышел из A , когда часы там показывали, что прошло пять лет, а вернулся, когда там прошло пять дней, т.е. в прошлое. Обратный переход приведет его в будущее.



Отверстия A и B на «согнутой» плоскости находятся друг от друга на большем расстоянии Z , чем во внешнем пространстве, где они соединены короткой ручкой длиной S .

Здесь возникает много парадоксов, которые требуют своего анализа, например парадоксы, связанные с возможным по теории нарушением причинно-следственных цепей. Надо сказать, что сама эта теория еще окончательно не сформировалась, и мы привели некоторые ее положения как интереснейший пример, иллюстрирующий всю сложность современных представлений о пространстве, их известный романтизм и даже «фантастичность».

Помимо этих двух следствий, на наш взгляд, можно выделить еще одно, связанное с размерностью пространства. Дело в том, что на первый взгляд горловина выходит за пределы трехмерного пространства (если мы отвлечемся от времени как мерности пространства-времени, что не совсем корректно, но не меняет сути дела) в некоторое другое измерение. Причем мерность нашего пространства не изменяется. Но тогда сразу же возникает вопрос: не является ли это пространство «вложенным» в другое пространство, с большим числом измерений? Или наши представления о мерности пространства в значительной мере концептуальны, а реальное пространство имеет большее число измерений? Таким образом, мы снова возвращаемся к проблеме мерности пространства, о которой уже говорили выше.

Существует много фактов, которые на первый взгляд подтверждают трехмерность пространства и одномерность времени. Так, например, известно, что орбиты станут неустойчивыми в пространстве с числом измерений, большим либо равном четырем, но они устойчивы в случае числа измерений меньше либо равном трем. Атомы устойчивы в четырехмерном пространстве-времени либо при меньшем числе измерений. Этот список можно продолжить. Отсюда, казалось бы, следует однозначный вывод: если физика как теория нашего мира справедлива и действительна только в пространстве с наибольшим числом измерений, равным трем, то пространство, следовательно, трехмерно. Но такой вывод, по меньшей мере, поспешен. И прежде всего потому,

что все формулировки физических законов априори носят, так сказать, трехмерный характер. Иными словами, формулируя законы, мы уже заранее считаем, что пространство трехмерно, т.е. фактически принимаем трехмерность пространства за аксиому. Следует учесть и тот факт, что в мире существуют и другие типы сил, которые не описываются обратной пропорциональностью квадрату расстояния, как гравитационные и кулоновские.

Таким образом, чтобы решить проблему мерности пространства, необходимо прежде всего отказаться от фактической аксиоматизации трехмерности. И в 1921 году немецкий физик Теодор Калуца предложил вариант пятимерной теории, объединяющей гравитацию и электромагнетизм. Согласно этой теории, наш мир представляет собой искривленное пятимерное пространство-время, где одна координата – временная, а четыре – пространственные. Возникающие в этой теории новые геометрические величины отождествлялись Калуцей с электромагнитными потенциалами.

Эту работу продолжил шведский физик Оскар Клейн, который обобщил результаты Калуцы. В частности, он обобщил уравнение Шредингера, записанное для трехмерного пространства и времени, на четырехмерное пространство-время с помощью представлений о пятимерии, получил уравнения движения заряженной частицы как для гравитационного, так и для электромагнитного поля и т.д. Параллельно с Клейном и независимо от него такие же результаты получил советский физик В.А.Фок.

Однако теория Калуцы – Клейна имела определенные недостатки и не завоевала всеобщего признания. Пожалуй, наиболее серьезным препятствием тому явилось чисто формальное объединение гравитации и электромагнетизма. Строго говоря, такое объединение не позволяло кардинально изменить представления о пространстве и времени, которые могли бы привести к новым следствиям. Иными словами, теория оказалась не совсем «безумной», чтобы быть правильной. Выяснилось также, что результаты Клейна и Фока применительно к квантовой механике можно получить и без пятимерных представлений.

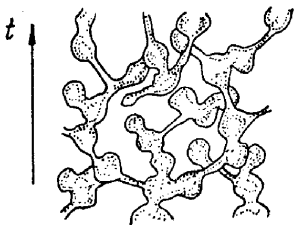
С развитием физики высоких энергий, когда выявились новые типы взаимодействий (слабое и сильное), возникла проблема объединения уже не двух видов взаимодействий, а четырех. Казалось бы, этот факт полностью «похоронил» идею пятимерия. Но развитие космологии и попытки объединенного описания электромагнитного, гравитационного, слабого и сильного взаимодействий возродили интерес

к работам Калуцы и Клейна, впервые поставивших проблему физического многомерия с $n > 4$.

Одна из причин, вызвавших новый интерес к теории и методологии Калуцы, выводящим физику за пределы четырехмерных представлений о мире, заключается в том, что предсказываемое пятимерной теорией существование дополнительного скалярного поля геометрического происхождения оказалось необходимым для построения более совершенной модели развития Вселенной. Речь идет об уже известном читателю сценарии раздувающейся Вселенной.

Важная особенность этого сценария заключается в признании существования сильных флуктуаций метрики пространства Вселенной. Флуктуации, в свою очередь, приводят к разбиению Вселенной на большие области, находящиеся в различных состояниях. Для каждого состояния существуют свои типы компактификации (свертывания) «лишних» измерений, и поэтому в разных областях Вселенной свойства пространства-времени будут различными (в частности, число измерений может быть больше либо меньше четырех). Таким образом, глобальная геометрия Вселенной отличается от геометрии фридмановских вселенных, представляющих собой мини-вселенные с разными свойствами. В одной из таких мини-вселенных создались условия, при которых стало возможным появление человека. В других мини-вселенных этого, видимо, не произошло.

Такая модель Вселенной дает широкий простор для воображения как писателям-фантастам (впрочем, они этот простор уже освоили), так и ученым. Однако для последних данная модель имеет определенные границы, связанные с развитием физики высоких энергии. Ее развитие ставит новые проблемы, касающиеся размерности пространства в частности и всех его свойств в целом.



Весьма упрощенное представление глобальной структуры Вселенной согласно модели хаотического раздувания.

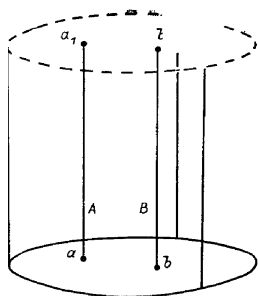
В этом случае история Вселенной может не иметь сингулярного начала и не имеет конца, а свойства пространства-времени различны в каждой мини-вселенной.

Как известно, опыты по рассеянию нуклонов на нуклонах показали, что свойства протонов и нейтронов тождественны в отношении

ядерного взаимодействия. Поэтому протоны и нейтроны можно рассматривать как два различных состояния одной и той же частицы: одно – заряженное (протон), другое – нейтральное (нейтрон). Это позволило объединить их в так называемый изотопический дублет, в котором они различаются проекцией изотопического спина в некотором «внутреннем» изотопическом пространстве. Отсюда изотопическое пространство можно трактовать как некоторое новое «дополнительное» измерение, характерное для микромира. Иначе говоря, событие необходимо рассматривать в так называемом расслоенном пространстве, причем четырехмерное пространство-время Минковского является его базой, над которой существует слой – изотопическое пространство, имеющее, в свою очередь, несколько измерений.

Как же можно представить геометрию такого пространства? Первое его представление связано с обобщением понятия точки. Точка в расслоенном пространстве есть евклидова точка, которой соответствует свое пространство. В целом же расслоенное пространство – это такое, в котором каждая точка базового пространства взаимно однозначно связана с пространством, называемым слоем над базой. Каждой точке в базе соответствует свой слой (пространство), отражающий структуру точки.

Примером расслоенного пространства может служить следующее представление. Пусть базой является круг. Над базой расположен цилиндрический объем с осью, проходящей через центр базы перпендикулярно ей. Тогда прямые, находящиеся внутри цилиндра и перпендикулярные базе, будут слоями, каждому из которых соответствует своя точка. Наглядно можно представить расслоенные пространства с размерностью $n \leq 3$. Метрика такого пространства записывается сложными уравнениями, которые мы не будем здесь приводить. В общем случае геометрию расслоенного пространства принято обозначать символом $M^{(n)} \times S^{(n)}$. В случае расслоенного пространства для элементарных частиц его геометрия записывается в виде произведения $M^{3+1} \times S^{(n)}$, где M^{3+1} – пространство-время Минковского как база, а $S^{(n)}$ – изотопическое n -мерное пространство как слой.



Простейший пример
расслоенного пространства:
круг – база, прямые, перпендикулярные
базе, – слои.

Представление о расслоенных пространствах, как показывает развитие современной физики, может, видимо, быть базой для синтеза фундаментальной физики и геометрии. Во всяком случае объединенная теория взаимодействия, о которой мы уже говорили, допускает геометрическую интерпретацию взаимодействия частиц именно в рамках геометрии расслоенных пространств. В связи с этим небезосновательным выглядит предположение, что существует реальное физическое пространство, которое описывается в терминах расслоенных пространств.

Объединение римановой геометрии и геометрии расслоенных пространств в рамках так называемой теории супергравитации позволит получить не только объединенное описание всех явлений в окружающем нас мире, но и объединенное описание пространства мира, в котором все остальные представления о пространстве являются лишь частными случаями этого объединения. И здесь мы выходим на так называемую теорию суперструн – представление о частицах как протяженных объектах с масштабом 10^{-33} см. При этом установлено, что для непротиворечивости теории, объединяющей описание мега- и микромира, необходимо, чтобы в масштабах $l \leq 10^{-33}$ см размерность пространства-времени $n = 10 + 1$. Если масштабы значительно большие, то мы наблюдаем пространство-время с размерностью $n = 3 + 1$, где остальные измерения компактифицированы (свернуты).

Свернуть, или компактифицировать, многомерные пространства можно различными способами. Например, одно дополнительное измерение можно свернуть только единственным образом – в окружность. Двумерную поверхность можно свернуть так, чтобы получилась либо поверхность тора (бублика), либо поверхность сферы. И чем больше измерений, тем больше вариантов свертывания, т.е. тем больший набор топологий мы имеем.

С точки зрения физических представлений последней четверти XX в. наиболее привлекательный вариант свертывания – это семимерный аналог сферы. В данном случае каждая точка нашего трехмерного пространства представляет собой семимерную гиперсферу. Привлекательность такого представления связана с тем, что семимерная гиперсфера – наиболее простой вариант, допускающий существование в нашем мире всех известных фундаментальных взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого. Использование такой математической конструкции позволяет описывать все известные нам материальные структуры – от элементарных частиц до галактик.

Но вместе с тем возможны и достаточно непротиворечивые варианты физики мира, в котором реализуются не три несвернутых измерения, а, допустим, пять. Такая возможность связана с упоминаемой выше моделью Вселенной, состоящей из мини-вселенных. И тогда снова возникает вопрос, почему наш видимый мир трехмерен. Существует распространенный вариант ответа на этот вопрос с помощью антропного принципа.

Антропный принцип был сформулирован на основе анализа гипотезы больших чисел. Исследуя проблему фундаментальных физических постоянных, таких как, например, гравитационная постоянная, Поль Дирак предположил, что их величины обусловлены возрастом фридмановской Вселенной. Это предположение следует из анализа двух больших чисел: $N_1 = t_0 e^2 / m_e c^3 \approx 6 \cdot 10^{39}$ (t_0 – возраст Вселенной, e – заряд электрона; m_e – масса электрона, c – скорость света) и $N_2 = e^2 / G m_p m_p \approx 2,3 \cdot 10^{39}$ (G – гравитационная постоянная, m_p – масса протона). В первом случае мы имеем соотношение между возрастом Вселенной и временем пробега светом расстояния, равного радиусу электрона, во втором – соотношение между силой электрического взаимодействия электрона и протона и силой гравитационного взаимодействия этих частиц.

Видно, что $N_1 = N_2$. Мало того, $N_1 = N_2 = N^{1/2} = 4 \cdot 10^{32}$. Но t_0 – величина изменяющаяся. Тогда изменяется и N_1 . Если же настаивать на равенстве N_1 и N_2 , то надо признать, что и N_2 – изменяющаяся величина. Однако до этого считалось, что G , m_e , m_p и e – постоянные величины, значит, N_2 – величина постоянная. Для того чтобы N_2 изменялась, Дирак предположил, что $G \sim 1/t$, и назвал все это гипотезой больших чисел. Отсюда ясно, что указанные большие числа связаны с возрастом Вселенной и, следовательно, между собой.

Роберт Дикке предложил в 1961 году другое объяснение совпадения больших чисел, отбросив идею изменения физических постоянных, в том числе и G , и попытавшись понять, в чем выделенность нашей Вселенной, для которой характерно такое совпадение. Проведя соответствующий анализ, он сделал вывод, что не существуй это совпадение, не будут существовать и физики, размышляющие над данной проблемой. Дело в том, что только при совпадении больших чисел возможно существование нашего мира. Брэндон Картер сформулировал эту идею в виде так называемых слабого и сильного антропного принципа.

Слабый антропный принцип гласит, что наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием как наблюдателей. В соответствии с сильным антропным принципом Вселенная (и, следовательно, фундаментальные параметры, от которых она зависит) должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе ее эволюции допускалось существование наблюдателей. Иными словами, наше пространство трехмерно и доступно непосредственному наблюдению потому, что в пространстве с другим числом измерений мы не смогли бы жить. Но является ли это, как считают некоторые исследователи, объяснением трехмерности пространства? Мы полагаем, что нет, и попробуем обосновать это.

Само введение в научный оборот антропного принципа и существующие варианты его интерпретации показывают, что он не соотносится с каким-либо конкретным природным процессом либо группой таких процессов. Действительно, науке, во всяком случае современной, не известны процессы, в силу которых существование Вселенной обусловлено существованием наблюдателя (так и хочется провести параллель с гегелевской концепцией пространства, в соответствии с которой оно есть продукт развития абсолютного духа!). Что касается соотношения фундаментальных постоянных, то не оно определяет вид Вселенной, как утверждают большинство сторонников антропного принципа, а сама Вселенная и процессы, происходящие в ней, определяют значение этих постоянных и их соотношение.

К сожалению, данный факт упускают из виду и критики антропного принципа. Так, например, Д.Я. Мартынов, анализируя антропный принцип, утверждает, что «числа эти таковы, каковы они есть, и они определяют материальный мир, нас окружающий». Числа правят миром! Подобный тезис провозглашал еще Пифагор, подвергнувшийся за это достаточно убедительной критике со стороны древнегреческих ма-

териалистов. Во всяком случае высказывания такого рода, сделанные, может быть, в пылу полемики со сторонниками антропного принципа, вряд ли могут способствовать правильной его оценке.

При обсуждении антропного принципа следует иметь в виду и тот факт, что гипотеза больших чисел трактует взаимосвязь постоянных, не учитывая, что любое изменение той или иной постоянной должно вызывать и соответствующие изменения законов, связанных с ней (и наоборот), что, в свою очередь, приводит к изменению мира. Но, видимо, фиксировать изменения такого рода наблюдателю будет чрезвычайно сложно, так как они вызовут изменения и самого наблюдателя, и снова (и одновременно) его мир будет для него естественным (если, конечно, не исчезнет сам наблюдатель).

Противники этого тезиса могут сказать, что сравнение прошлого с настоящим решает данную проблему, особенно если изменения происходят не мгновенно, а с ограниченной скоростью. Однако здесь можно возразить, что такое утверждение правомерно для изменений, не затрагивающих качественно состояние известной нам Вселенной, в то время как изменения постоянных связаны именно с качественными изменениями мира. Но предположим, что подобные изменения имеют локальный характер. В таком случае в области, затронутой изменением, мы будем иметь качественно иную физику, чем вне ее, и она, эта область, «уйдет» от нас в сингулярность («провалится» в черную дыру?) в крайнем случае либо в лучшем случае заставит нас разработать новую физическую теорию, применимую в ее пределах, и снова поставит проблему природы физических постоянных. Собственно говоря, наличие космологической сингулярности подтверждает сказанное и подрывает тезис об уникальности нашей Вселенной, а следовательно, и сам антропный принцип.

Еще одно возражение против антропного принципа сводится к тому, что кроме человека в качестве «меры всех вещей» можно взять и любой другой достаточно большой масштаб, начиная с атома, а может быть, и с известных нам элементарных частиц, существование которых во многом определено и обусловлено теми же фундаментальными процессами, что и существование человека. Следует отметить, что эти фундаментальные свойства и процессы пока не могут быть объяснены посредством известных нам законов природы, и большинство из них до сих пор постулируется в физических теориях (например, топологические и порядковые свойства пространства-времени).

Разумеется, условия, при которых может существовать человек, более жесткие, чем условия существования других объектов Вселенной. Но это лишь подтверждает отсутствие «избранности» человека: чем больше зависимость существования объекта от условий, его окружающих, тем меньше вероятность его возникновения из потенциальной возможности, но и тем меньше возможность воздействия на это окружение без опасения ответных репрессий с его стороны. Познавая окружающий мир, человек все более усиливает свою зависимость от него, от процессов, происходящих в нем, — как раз благодаря осознанию хрупкости своего существования не только как индивида, но и как вида.

Таким образом, можно видеть, что антропный принцип в лучшем случае слабо обоснован в контексте его выводимости из анализа процессов окружающего мира и поэтому не может служить единственным оправданием специфических черт нашего мира, в том числе и его трехмерности. Проблема мерности нашего пространства, пространства нашего мира остается нерешенной.

Между тем, как настаивает английский физик Пол Дэвис, «имеется любопытное свидетельство того, что число одиннадцать (речь идет о размерности пространства $n = 10+1$. — *Авт.*) действительно имеет глубокий математический смысл. Оно происходит из области физики, называемой супергравитацией».

Существует интересный вариант супергравитации, обозначаемый как $N = 8$. Известно, что так называемая операция суперсимметрии связывает элементарные частицы с разными спинами в единое суперсемейство со 163 частицами. Причем подобная операция создает именно такое конечное число частиц. $N = 8$ обозначает число «шагов», которыми операция суперсимметрии связывает частицы со всеми физически возможными спинами. Это число связано и с предполагаемым количеством различных типов гравитико-гипотетических частиц гравитационного поля, которое в этой теории также равно восьми, но и эта идея весьма и весьма гипотетична.

Кроме того, известно, что понятие спина связано со свойствами вращения частиц в трехмерном пространстве. Но если основываться на супергравитации, то при числе измерений больше трех теория упрощается, и в самой простой формулировке ее требуется одиннадцать измерений. В этом случае восемь операций суперсимметрии, соответствующих супергравитации $N = 8$, вырождаются в единственную операцию, и возникает супергравитация $N = 1$.

Отсюда можно сделать вывод, что исходя из принципов простоты и наглядности одиннадцатимерное пространство является наиболее целесообразным. Кроме того, связывая такую супергравитацию с теорией Калуцы – Клейна, можно, как предполагается, построить единое описание мира. Но, на наш взгляд, вряд ли это будет последняя на пути развития физики единая теория. Она будет лишь отражать очередную ступень, очередной этап развития нашего познания физического мира и его пространства.

Помимо проблемы мерности пространства имеется и ряд других проблем, связанных с его фундаментальными свойствами. Такой проблемой является, в частности, проблема дискретности пространства-времени. Иначе говоря, ставится вопрос (применительно к пространству), существует ли некоторая универсальная постоянная длины, своеобразный квант пространства. Ряд физических явлений, казалось бы, подтверждают тот факт, что возможна некоторая минимальная длина l , меньше которой длин уже не бывает. К таким явлениям относится, в частности, несохранение четности при слабых воздействиях. Кроме того, гипотезы о планксонах и максимонах также предполагают существование так называемой планковской длины $l_{pl} = (\hbar G/c_3)$, где \hbar – постоянная Планка; G – гравитационная постоянная; c – скорость света. Существование l_{pl} , в свою очередь, предполагает отсутствие каких-либо выделенных масштабов вплоть до $l \sim 10^{-33}$ см.

Кроме названных сеть и другие варианты обоснования квантованности пространства, но все они сопряжены с серьезными трудностями и пока не могут претендовать на статус физической теории. И самая главная трудность вот в чем: неясно, как можно на основе дискретности пространства ввести метрические соотношения, представления о длине и расстоянии. Иными словами, неясно, как осуществить переход от квантового микропространства к кажущейся непрерывности макро- и мегапространства. Между тем сделать такой предельный переход принципиально необходимо, так как совершенно очевидно, что должен быть реализован принцип соответствия непрерывной макрогеометрии и дискретной, квантовой микрогеометрии.

Мы считаем, что синтез космологии и физики высоких энергий может значительно приблизить нас к решению проблемы дискретности пространства. Выше уже говорилось о возможности существования множества вселенных. Такое представление о большом смыкается с представлением о квантовом характере этого большого. Наша Вселенная как квант, как некая элементарная частица, возможно, есть ре-

зультат спонтанной флуктуации физического пространства с большим (а в пределе – с бесконечно большим) числом измерений и является квантом этого пространства.

Скажем несколько слов и о другом важном свойстве пространства – о возможности существования в нем выделенных направлений. Ранее мы уже говорили, что в пространстве Вселенной в самом общем случае, в больших масштабах выделенные направления отсутствуют. Но это определенная идеализация. Наличие гравитационного поля, или кривизны пространства-времени, даст возможность говорить о некоторой предпочтительности одних направлений по сравнению с другими. Ряд явлений микромира, например нарушение четности, подтверждают этот тезис применительно к микропространствам, а существование сильного взаимодействия усиливает его.

Признание избранности направлений снова выводит нас на проблему размерности: возможно, существуют такие измерения, в направлении которых мы вообще не можем двигаться, либо по меньшей мере это движение чрезвычайно затруднено. И здесь возникает очередная параллель с мифологическими представлениями о пространстве, утверждающими существование избранных, предпочтительных направлений движения! Идею избранности направлений в значительной степени подтверждает принцип неопределенности.

Как известно, принцип неопределенности не позволяет одновременно фиксировать координату частицы и ее импульс $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$. Если мы будем фиксировать импульс частицы, или, что то же самое, ее энергию, то координата частицы становится полностью неопределенной: частица представляется «размазанной» по всей Вселенной. Наоборот, при фиксировании координаты возникает неопределенность в энергии, и чем меньше Δx , тем больше будет неопределенность в энергии. Получается, что в среднем такая энергия не может быть малой. Отсюда ясно, что движение вдоль измерения, где фиксируется координата частицы, становится по меньшей мере весьма затруднительным: если $l = 10^{-33}$ см, то частице необходимо сообщить энергию $\hbar/l = 10^{28}$ эВ! Поэтому и проблематично в обычных условиях фиксировать, наблюдать дополнительные измерения.

Рассказывая о размерности пространства, его возможной квантованности и возможности существования избранного направления, мы, как можно заметить, при обсуждении одного свойства неизменно «закрываемся» на другие свойства. Это говорит о том, что описать свойст-

ва пространства независимо друг от друга в принципе невозможно: они выступают только в едином комплексе. Мало того, здесь проявляется и неразрывная связь мега-, макро- и микропространства, а также сама собой напрашивается идея «вложенности» пространства нашего мира в пространство еще более, так сказать, объемного мира (идея, гипотеза множественных вселенных и, может быть, относительно наших масштабов, микровселенных). Следовательно, утверждать, что развитие физики будет завершено созданием теории великого объединения, по меньшей мере преждевременно. Эта теория – всего лишь еще один шаг на бесконечном пути нашего, человеческого, познания.

Кроме того, наш рассказ показал, как нам кажется, что проблема универсальности свойств пространства – это проблема прежде всего физическая, вернее конкретно-научная, а не философская. Философия дает лишь самые общие ориентиры к познанию свойств пространства, предоставляет в распоряжение исследователя общие методологические принципы и подходы. И используя философские представления о пространстве в частности и о мире в целом, можно сформулировать еще несколько интересных проблем, связанных с описанием пространства.

Мы уже упоминали принципы всеобщего универсального взаимодействия и неисчерпаемости материи. Из этих принципов следует, что нет единой абсолютной закономерности, которой описывались бы все взаимосвязи объектов. И коль скоро именно взаимосвязи материальных объектов определяют пространство, его структуру, и в свою очередь, свойства самого пространства и его структура определяют свойства этих объектов на всех уровнях, не означает ли это, что, как велико число форм этих взаимосвязей, так же велико и число форм пространства и самих объектов? И в силу действия еще одного философского закона (Гегель) – закона перехода количественных изменений в качественные – можно предположить, что качественно различные объекты определяют и качественно различные пространственные формы – в соответствии с формами движения материи и структурой самого пространства.

Иными словами, утверждая, что пространство (наряду со временем) есть форма существования материи и вместе с тем условие существования материальных явлений, принадлежащих к определенному уровню материи, мы должны утверждать, что существуют и другие пространственно-временные формы. Причем каждая пространственно-временная форма является условием существования другой, более

фундаментальной формы пространства-времени, а потому должен быть возможен и даже обязателен предельный переход от одной пространственно-временной формы к другой, «обеспечивающий» действительность и истинность принципа единства мира.

Иной читатель после этих слов может сказать, что авторы, начав свой рассказ с мифологических представлений о пространстве, вернулись к ним, но на новом, псевдонаучном уровне. Телекинез, парапсихология, НЛЮ, полтергейст и прочие «чудеса» современности в псевдонаучной оболочке – вот что якобы скрывается за такого рода утверждениями о пространстве, за утверждениями о возможности существования его в различных, взаимодействующих между собой формах. Но наш более внимательный читатель, возможно, заметил, что различные формы, скажем так, реального физического пространства (мега-, макро- и микро-) не только дополняют друг друга, составляя общую картину нашего физического пространства, но и обуславливают, определяют друг друга благодаря существованию взаимных связей. Однако не будем спешить с выводами и вернемся в гл.2 к истории создания СТО и ОТО, которые, совместно с квантовой механикой, физикой высоких энергий и других фундаментальных теорий и гипотез предопределили (сами не желая того) метафизический, по сути своей, характер поиска единой фундаментальной физической теории.

Глава II

ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ: ИСТОРИЯ И ФИЛОСОФИЯ

§ 1. Специальная теория относительности: основные предпосылки и идеи

Кризис

Первые этапы развития электродинамики в ее объяснительном варианте, казалось бы, подтверждали существование некоего материального агента – эфира. Свет, электричество и магнетизм, ранее представлявшиеся совершенно независимыми друг от друга, объединились в одно – электромагнетизм. Максвелл пытался объединить их механическим образом, создав механическую модель электромагнитных явлений. «В различных местах этого трактата, – пишет Максвелл, приступая к изложению электромагнитной теории света, – делалась попытка объяснения электромагнитных явлений при помощи механического действия, передаваемого от одного тела к другому при посредстве среды, занимающей пространство между этими телами. Волновая теория света также допускает существование какой-то среды. Мы должны теперь показать, что свойства электромагнитной среды идентичны со свойствами светонесущей среды... Мы можем получить численное значение некоторых свойств среды, таких, как скорость, с которой возмущение распространяется через нее, которая может быть вычислена из электромагнитных опытов, а также наблюдается непосредственно в случае света. Если бы было найдено, что скорость распространения электромагнитных возмущений такова же, как и скорость света, не только в воздухе, но и в других прозрачных средах, мы получили бы серьезное основание для того, чтобы считать свет электромагнитным явлением, и тогда сочетание оптической и электрической очевидности даст такое же доказательство реальности среды, какое мы получаем в случае других форм материи на основании совокупности свидетельств наших органов чувств».

На основе анализа своих уравнений Максвелл показал, что поперечные токи смещения распространяются с той же скоростью, причем конечной, что и свет, доказав тем самым его электромагнитную природу. Прямое экспериментальное подтверждение этому дал в 1888 г. Г. Герц. Также экспериментально было показано, что скорость света не зависит от скорости движения его источника. Но данный факт привел к конфликту с двумя фундаментальными положениями классической механики – классическим правилом сложения скоростей и классическим принципом относительности. Первому положению соответствует преобразование координат при переходе от одной системы отсчета к другой, движущейся относительно первой без ускорения. Обязательным условием при таком преобразовании является сохранение представления об одновременности, согласно которому два события считаются одновременными не только при их регистрации в одной системе отсчета, но и во всякой другой инерциальной системе.

Математически классический принцип относительности выражается преобразованиями Галилея:

$$(x, t) \rightarrow (x', t') : \begin{cases} x' = x - Vt, V = \text{const} \\ t' = t. \end{cases}$$

Кроме того, в этом случае пространственное расстояние между двумя точками в одной системе отсчета всегда равно их расстоянию в другой системе. Согласно же классическому принципу относительности нельзя обнаружить равномерное и прямолинейное движение системы отсчета какими-либо внутренними механическими эффектами, находясь в этой системе. Иными словами, во всех инерциальных системах отсчета все механические явления происходят одинаково. На математическом языке это означает, что уравнения, выражающие законы природы, инвариантны по отношению к преобразованиям координат и времени от одной инерциальной системы к другой, т.е. уравнение, описывающее некоторый закон природы, будучи выражено через координаты и время в различных инерциальных системах отсчета, имеет один и тот же вид. Но распространяется ли это положение на электромагнитные явления в общем и на оптические явления в частности? Очевидно, нет, так как если свет распространяется с определенной скоростью относительно любой инерциальной системы отсчета, то при переходе от одной системы к другой, согласно классическому правилу сложения скоростей, скорость света изме-

нит свое значение, что противоречит отмеченному выше эмпирически доказанному факту постоянства и независимости скорости света от скорости движения его источника. Иными словами, величина скорости света не будет инвариантной по отношению к преобразованиям Галилея, что, в свою очередь, говорит о невозможности распространения классического принципа относительности на оптические явления. Таким образом, электродинамика показала несовместимость двух фундаментальных классических принципов – правила сложения скоростей и принципа относительности. Очевидно, что их необходимо было пересматривать.

Одновременно развитие электродинамики, и прежде всего ее эмпирической базы, показало несостоятельность всех классических трактовок эфира как среды, ответственной за передачу электромагнитных излучений. Каждый из оптических экспериментов и наблюдений в движущихся средах при некоторых дополнительных допущениях легко мог быть объяснен в рамках существующих классических представлений, связанных с ньютоновской абсолютностью пространства и времени. Однако интерпретации одних экспериментов и наблюдений противоречили интерпретациям других, так как требовали несовместимых допущений. Наиболее важными оказались результаты трех эмпирических данных: наблюдения аберрации, опыта Физо и опыта Майкельсона.

В 1725 г. Дж. Брэдли обнаружил, что звезда γ Дракона, находящаяся в зените, совершает кажущееся движение с периодом в один год по почти круговой орбите с диаметром, равным 40,5 дуговой секунды. Для звезд, видимых в других местах небесного свода, Брэдли также наблюдал подобное кажущееся движение – в общем случае эллиптическое. Явление, наблюдавшееся Брэдли, называется аберрацией. Оно не имеет ничего общего с собственным движением звезды. Причина аберрации заключается в том, что величина скорости света конечна, а наблюдение ведется с Земли, движущейся по орбите с некоторой скоростью v (рис. 1).

Угол раствора конуса, под которым с Земли видна кажущаяся траектория звезды, определяется выражением

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c}$$

Зная угол α и скорость движения Земли по орбите v , можно определить скорость света c .

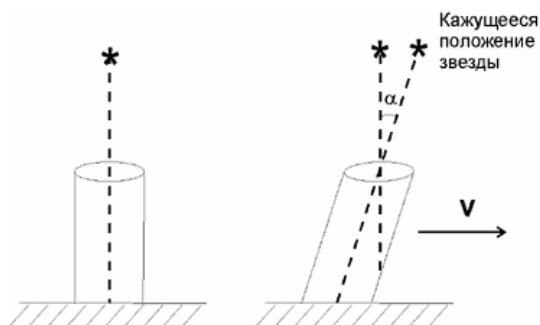


Рис. 1. Аберрация света звезды.

В принципе явление аберрации легко может быть объяснено как результат классического сложения скоростей, примененного к световым корпускулам, движущимся со скоростью c . Но упрочение господства волновой теории в контексте эфирных представлений изменило понимание этого явления. Для объяснения аберрации в рамках волновых представлений Т. Юнг в 1804 г. вынужден был выдвинуть дополнительную гипотезу о том, что при движении Земли эфир ею не увлекается. Однако в 1817 г. О. Френель показал, что если принять, что движущееся тело увлекает за собой не весь содержащийся в нем эфир, а лишь избыточную часть его по сравнению с равным объемом пустого пространства, то явление аберрации вполне укладывается в рамки такой интерпретации. Но эта точка зрения была подвергнута Х. Допплером сокрушительной критике. На этой основе Г. Стокс в 1845 г. выдвинул дополнительную гипотезу, противоположную юнговской: эфир полностью увлекается движущимися в нем телами.

Итак, выявилась основная проблема, которая сводилась к ответу на вопрос: неподвижен ли эфир или же он полностью или частично увлекается при движении тел? Ответ на этот вопрос решил бы проблему взаимодействия эфира с веществом, придав первому эмпирически подтвержденный статус либо показав несостоятельность подобных представлений.

Самой простой из гипотез о взаимодействии эфира и вещества была гипотеза полного увлечения эфира. Чтобы проверить это предположение, в 1851 г. И. Физо поставил эксперимент, в основе которого лежали следующие рассуждения. Пусть в неподвижной жидкости свет распространяется со скоростью $c' = c/n$, где n – показатель преломления жидкости. Если жидкость при движении со скоростью v

полностью увлекает весь содержащийся в ней эфир, то скорость распространения света в движущейся жидкости должна быть $c' \pm v$.

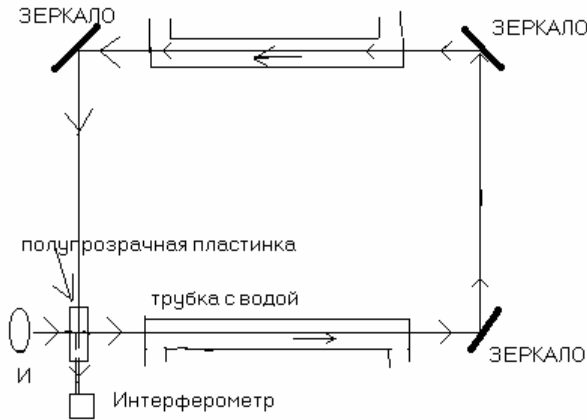


Рис. 2. Установка Физо.

Луч света из источника И (рис. 2) проходит через полупрозрачную пластину, в которой луч частично отражается и попадает в интерферометр, а частично проходит сквозь пластину и пропускается сквозь трубку с текущей водой. Отразившись от зеркал, луч вторично проходит через трубку, в которой течет вода, после чего направляется в интерферометр, где при сложении с первым лучом образует интерференционную картину. По различному положению интерференционных полос можно определить зависимость скорости света в жидкости в зависимости от скорости ее течения. Физо нашел, что скорость света в направлении движения среды не $c' + v$, а $c' + \alpha v$, где $\alpha = 1 - 1/n^2$ и $0 < \alpha < 1$.

Итак, опыт Физо опроверг гипотезу полного увлечения эфира и показал, что свет только частично увлекается жидкостью. Осталась возможность выбора из гипотез абсолютно неподвижного и частично увлекаемого эфира.

1881 г. А. Майкельсон поставил задачу измерить скорость света в двух направлениях – в совпадающем с движением Земли и перпендикулярном ему. Согласно гипотезе об увлечении эфира скорость света в этих взаимноперпендикулярных направлениях должна быть разной. В направлении движения Земли скорость света c в неподвижной системе отсчета должна была суммироваться со скоростью движения Земли v , т.е. составлять $c + v$. В перпендикулярном направлении она

должна была остаться равной c . Разность скоростей должна была приводить к разности фаз перпендикулярных лучей монохроматического света. Значит, должна была возникнуть интерференционная картина.

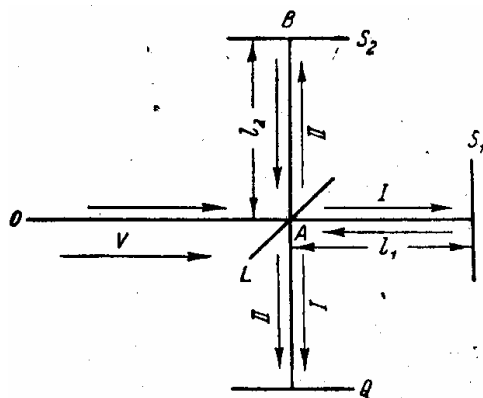


Рис. 3. Интерферометр Майкельсона.

Рассмотрим принципиальную схему прибора для обнаружения интерференции, который называется интерферометр Майкельсона (рис. 3). Вектор V указывает направление движения Земли. Из точечного источника монохроматического света O посылается луч света, падающий на полупрозрачное зеркало L , установленное под углом 45° к направлению светового луча. Часть света I проходит сквозь полупрозрачное зеркало L и направляется на зеркало S_1 , а вторая часть света II отражается полупрозрачным зеркалом L и попадает в зеркало S_2 . Расстояния от центральной точки A полупрозрачного зеркала L до зеркал S_1 и S_2 называются плечами интерферометра. Эти плечи равны, т.е. оба пучка света проходят одинаковые расстояния. Отраженные от зеркал S_1 и S_2 пучки света I и II достигают полупрозрачного зеркала L , где луч I отражается, а луч II проходит сквозь него. Оба луча попадают на экран Q , где и должна была наблюдаться интерференционная картина.

На участках OA и AQ оба луча движутся совместно и никакой разности хода у них возникать не должно. Но на плечах интерферометра l_1 и l_2 условия их движения неодинаковы. Пусть l_1 луч проходит дважды: в направлении, совпадающем с движением Земли, т.е. со скоростью $c + v$, и в противоположном направлении, т.е. со скоро-

стью $c - v$. Время, необходимое лучу для того, чтобы дважды пройти путь l_1 , следовательно, будет определяться выражением

$$\Delta t_1 = \frac{l_1}{c - v} + \frac{l_1}{c + v} = \frac{2l_1 c}{c^2 - v^2}.$$

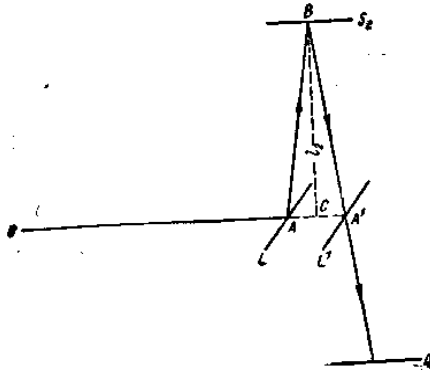


Рис. 4. Путь света в опыте Майкельсона.

Теперь найдем время Δt_2 , необходимое для того, чтобы II луч прошел путь от A до B и обратно. По этому пути луч туда и обратно движется с одной и той же скоростью c , но так как за время Δt_2 его движения от A до B и обратно зеркало S_2 сместится вместе с Землей на расстояние $AA' = v\Delta t_2$ (рис. 4), то и луч будет проходить расстояние не $2l_2$, а несколько большее. Это расстояние нетрудно найти и из него определить Δt_2 .

Путь, проходимый лучом, составляет $AB + BA' = 2AB$. Из треугольника ABC имеем

$$AB_2 = BC_2 + AC_2,$$

$$\text{но } BC = l_2, AC = v\Delta t_2/2, AB = c \Delta t_2/2.$$

По теореме Пифагора

$$c_2 \Delta t_2^2 - v_2 \Delta t_2^2 = 4 l_2^2.$$

Отсюда

$$\Delta t_2 = \sqrt{\frac{4l_2^2}{c^2 - v^2}}.$$

Итак, из гипотезы абсолютно неподвижного эфира следует, что $\Delta t_1 \neq \Delta t_2$, свет затрачивает разное время для прохождения плеч интерферометра. За счет этого при соединении лучей I и II в A между ними должна возникать разность фаз, дающая смещение интерференционных полос на экране Q.

Однако опыт Майкельсона дал отрицательный результат, т.е. никакого размывания интерференционной картины лучей I и II не возникало. Опыт показывал, что, следовательно, $\Delta t_1 = \Delta t_2$. Отсюда был сделан вывод, что эфир полностью увлекается движущейся Землей, а это, в свою очередь, противоречит результатам опыта Физо. Данное обстоятельство требовало объяснения, и одной из попыток такого объяснения явилась гипотеза Лоренца – Фицджеральда. Авторы ее предложили считать, что все предшествующие рассуждения правильны, что действительно должна была бы возникать разность времен прохождения лучами I и II плеч интерферометра l_1 и l_2 (а следовательно, и разность фаз в этих лучах). Но этого не происходит потому, что все тела в направлении своего движения испытывают сокра-

щение, уменьшаясь в $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ раз. Иными словами, отрицательный результат опыта Майкельсона истолковывался таким образом, что l_1 и l_2 только кажутся равными друг другу, а на самом деле плечо l_1 оказывается сократившимся, тогда как l_2 остается неизменным. Причем l_1 сокращается именно так, чтобы не возникало никакой разности во времени прохождения. Этому равенству можно удовлетворить в том и только в том случае, если положить, что

$$l_1 = l_2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

т.е. плечо l_1 , расположенное по направлению движения Земли, сокращается в $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ раз по сравнению с плечом l_2 , остающимся неизменным. Но это сокращение, получившее название сокращения Лоренца, по самой его сути невозможно обнаружить, так как любой масштаб, которым мы будем мерить плечо l_1 , испытывает одновременно с ним сокращение точно во столько же раз, во сколько сокращается и само плечо l_1 .

Пусть сначала l_1 располагалось перпендикулярно к движению Земли и, следовательно, не испытывало никакого сокращения. Пусть масштабная линейка, приложенная к l_1 , показывала 20 делений. Ставим плечо l_1 по направлению движения Земли; оно изменилось в $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ раз, но приложенная к нему масштабная линейка показывает по-прежнему 20 делений, поскольку и каждое из этих делений сократилось в такое же число раз.

Таким образом, сокращение Лоренца мыслилось имеющим место и в то же время принципиально необнаруживаемым ни в одном явлении, кроме отсутствия размывания интерференционной картины световых лучей, для объяснения которого оно и было специально придумано. Это яркий пример принципиально непроверяемой гипотезы, так как она не ведет ни к каким наблюдаемым результатам, кроме тех, для объяснения которых она специально и придумывается. Такие гипотезы называются гипотезами *ad hoc* («для данного случая») и в отличие от истинных гипотез, дающих систематическое решение широкого круга проблем, предлагают решение одной проблемы и часто входят в противоречие с рядом уже хорошо известных и апробированных результатов.

В контексте сохранения идеи эфира Лоренц рассмотрел также вопрос о том, достаточно ли принять гипотезу сокращения, для того чтобы вывести принцип относительности. Полученный им результат столь же поразителен, как и гипотеза сокращения: в инерциальной системе: необходима новая мера времени. Лоренц назвал это время, изменяющееся при переходе от одной инерциальной системы к другой, локальным временем. Обе гипотезы совместно требуют, чтобы пространство и время в движущихся системах и в покоящемся эфире измерялись различным образом. В этой новой теории Лоренца принцип относительности справедлив для всех электромагнитных явлений в любой системе отсчета независимо от того, покоится ли она в эфире или движется в нем равномерно и прямолинейно, т.е. не существует физически выделенной абсолютной системы отсчета. Но таким образом, никакое конкретное положение в эфире не имеет физического смысла и тем самым эфир теряет свойства реальной субстанции. Действительно, если любой из наблюдателей, движущихся относительно друг друга, может с равным правом утверждать, что именно он покоится в эфире, то какой физический смысл имеет такой принципиально ненаблюдаемый эфир?

Итак, развитие идеи эфира, который должен был служить переносчиком электромагнитных взаимодействий, привело не просто к системе эмпирических и теоретических противоречий, но и к отрицанию самой этой идеи. Остается задача – построить новую теорию, опирающуюся на существующую эмпирическую базу, но без привлечения идеи эфира.

Выход из кризиса: специальная теория относительности

Свою работу «К электродинамике движущихся сред» (1905 г.), положившую начало специальной теории относительности, А. Эйнштейн начинает с фиксации асимметричности электродинамического взаимодействия. «Известно, что электродинамика Максвелла, – писал он, – в современном ее виде приводит в применении к движущимся телам к асимметрии, которая несвойственна, по-видимому, самим явлениям. Вспомним, например, электродинамическое взаимодействие между магнитом и проводником с током. Наблюдаемое явление зависит здесь только от относительного движения проводника и магнита, в то время как, согласно обычному представлению, два случая, в которых движется либо одно, либо другое из этих тел, должны быть строго разграничены... Примеры подобного рода, как и неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды», ведут к предположению, что не только в механике, но и в электродинамике никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя и даже, более того, – к предположению, что для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы...». Это предположение Эйнштейн далее превращает в предпосылку новой теории, которую он называет принципом относительности, и вводит, по его словам, «добавочное допущение, находящееся с первым лишь в кажущемся противоречии, а именно, что свет в пустоте всегда распространяется с определенной скоростью V , не зависящей от состояния движения излучающего тела... Введение «светоносного эфира» окажется при этом излишним, поскольку в предлагаемой теории не вводится «абсолютно покоящееся пространство», наделенное особыми свойствами, а также ни одной точке пустого пространства, в котором протекают электромагнитные процессы, не приписывается какой-нибудь вектор скорости».

Тем самым Эйнштейн отказывается от классических представлений об абсолютности пространства и времени, принципа относительности Галилея и приходит к необходимости пересмотра классических кинематических представлений, который предполагает признание эмпирически подтвержденного еще Герцем факта конечности скорости света и, как следствие, ее независимости от скорости движения источника. Пересмотр начинается с основывающегося на этих фактах перепределения понятия одновременности.

Первоначально Эйнштейн формулирует принципы синхронизации часов, так как для описания движения какой-либо материальной точки мы задаем значения ее координат как функций времени, при этом «все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях». Отметим при этом, что синхронизация проводится с помощью луча света, т.е. фактически предполагается изотропность и однородность пространства, обеспечивающие одинаковость скорости распространения света во все стороны.

Мы можем говорить, что два события происходят в один и тот же момент времени, если имеем в различных точках пространства синхронизированные часы. Пусть в точках A и B есть часы. Фиксируем, что время прохождения света из A в B равно времени прохождения света из B в A . Пусть в момент времени t_A из A посылается световой сигнал, который достигает точки B в момент времени t_B , отражается и достигает точки A в момент времени t_A^0 . Часы по определению идут в точках A и B синхронно, если

$$t_B - t_A = t_A^0 - t_B.$$

Таким образом устанавливается, что время события — это одновременное с событием показание покоящихся часов, находящихся в месте события. Это время, принадлежащее к покоящейся системе, Эйнштейн называет «временем покоящейся системы».

Рассмотрим теперь две инерциальные системы координат K и K' с осями координат XYZ и $X'Y'Z'$, причем система K' движется относительно системы K вправо вдоль осей X и X' (рис. 5). Пусть из некоторой точки A на оси X' одновременно отправляются сигналы в двух взаимно противоположных направлениях. Поскольку скорость распространения сигнала в системе K' , как и во всякой инерциальной системе, равна (в обоих направлениях) c , сигналы достигнут равноудаленных от A точек B и C в один и тот же момент времени (в системе K').

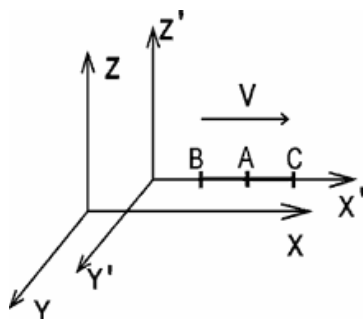


Рис. 5. Относительность понятия одновременности

Легко, однако, убедиться в том, что эти два события (приход сигналов в B и C) будут не одновременными для наблюдателя в системе K . Для него тоже скорость света равна c в обоих направлениях, но точка B движется навстречу свету, так что ее свет достигнет раньше, а точка C удаляется от света и поэтому сигнал придет в нее позже.

Таким образом, принцип относительности в формулировке Эйнштейна вносит фундаментальные изменения в основные физические понятия. Основанные на повседневном опыте, наши представления о пространстве и времени оказываются лишь приближенными, связанными с тем, что в обыденной жизни мы имеем дело только со скоростями, очень малыми по сравнению со скоростью света.

Дальнейшие соображения Эйнштейна опираются на установленное им понимание одновременности и на сформулированные уже явным образом два принципа – принцип относительности и принцип постоянства скорости света: «1. Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся. 2. Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью V , независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом». Эти результаты позволяют рассмотреть относительность длин и времен.

Вопрос о длине движущегося стержня Эйнштейн решает с помощью двух операций: 1) наблюдатель, движущийся вместе с масштабом и стержнем, измеряет длину стержня непосредственно, путем прикладывания к нему масштаба так, как если бы наблюдатель, масштаб и стержень находились в покое; 2) наблюдатель устанавливает, в каких

точках покоящейся системы находятся начало и конец измеряемого стержня в определенный момент времени t посредством установленных в покоящейся системе синхронизированных в указанном выше смысле покоящихся часов. Расстояние между этими двумя точками, измеренное в данном случае покоящимся масштабом, есть длина, которая обозначается как «длина стержня». Согласно принципу относительности длина, определяемая операцией (1) и называемая Эйнштейном «длиной стержня в движущейся системе», равняется длине покоящегося стержня. В случае операции (2) длина, которая определяется им как «длина (движущегося) стержня в покоящейся системе», отличается от длины стержня в первом случае. Максимальную длину стержень имеет в той системе отсчета, в которой он покоится, но всегда кажется укороченным, если длину его измерять в другой системе, движущейся относительно первой. Сокращаются при этом те размеры стержня, которые параллельны направлению движения системы отсчета.

Согласно Эйнштейну, относительность времен определяется следующим образом. Представим себе, что часы помещены на обоих концах стержня A и B , т.е. жестко связаны между собой. Стержень покоится в системе K' , движущейся в направлении стержня AB с постоянной скоростью относительно системы K . В этой системе стержень движется со скоростью v . С точки зрения наблюдателя, связанного с неподвижной системой отсчета, относительная скорость стержня и света будет равна $c - v$ на пути из A в B и $c + v$ — при обратном переходе. По часам, покоящимся в системе K ,

$$t_B - t_A = \frac{r}{c - v}, \quad t'_A - t'_B = \frac{r}{c + v},$$

где r — расстояние AB , измеренное в системе K . Наблюдатель в системе K' , движущейся вместе со стержнем, фиксирует, что свет движется из A в B и назад со скоростью c , и, устанавливая синхронность часов B и A , он требует выполнения условия

$$t_B - t_A = t'_A - t'_B.$$

Таким образом, можно видеть, что часы, синхронные в неподвижной системе отсчета, несинхронны в движущейся системе, и наоборот. Понятие одновременности носит относительный характер, связанный с системой отсчета.

Полученные результаты позволяют (опять же с использованием двух известных нам принципов, или постулатов) найти формулы преобразования от одной инерциальной системы отсчета к другой, т.е. формулы, по которым, зная координаты x, y, z, t события в некоторой системе отсчета K , можно найти координаты x', y', z', t' того же события в другой инерциальной системе K' . При этом вторая система движется относительно первой в направлении x со скоростью v . В момент $t = t' = 0$ системы совмещены. В этот момент из общего начала координат испускается луч света.

Условие однородности пространства и времени означает, что связь между обеими системами отсчета должна быть линейной. Кроме того, из условия движения вдоль оси x ясно, что $y = y', z = z'$. Ясно также, что $x = ct$, а $x' = ct'$. Учитывая, что преобразования Галилея необходимо скорректировать в соответствии постулатами СТО, можно записать, что

$$\begin{aligned}x &= k(x' + vt'), \\x' &= k(x - vt).\end{aligned}$$

где k пока не определено. Подставляя соответствующие выражения, получим

$$\begin{aligned}x &= k\left(x' + \frac{v}{c}x'\right) = kx'\left(1 + \frac{v}{c}\right), \\x' &= k\left(x - \frac{v}{c}x\right) = kx\left(1 - \frac{v}{c}\right).\end{aligned}$$

Перемножим эти выражения:

$$xx' = k^2 x'x \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right).$$

Отсюда видно, что

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Тогда

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

а для времен t и t' получаем выражения

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

а закон сложения скоростей примет вид

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}.$$

Из этого соотношения следует, что при сложении двух скоростей, меньших c , всегда получается скорость, меньшая c .

Используя приведенное правило сложения скоростей и закон сохранения импульса, легко показать, что в релятивистской механике масса движущегося тела m определяется выражением

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m_0 — масса покоящегося тела. Ясно, что изменение массы можно экспериментально обнаружить лишь при больших скоростях, близких к скорости света, что и было доказано во множестве экспериментов с электронами (в частности, опыты В.Кауфмана в 1902 и 1906 гг.).

В 1905 г. Эйнштейн вывел также знаменитое соотношение между энергией тела E и его массой покоя $E = m_0c^2$, также получившее экспериментальное подтверждение.

Современную тензорную форму специальной теории относительности придал к 1908 г. Г. Минковский. Он исходил из того, что предмет человеческого восприятия всегда являются пространственные и временные интервалы, взятые в совокупности. Действительно, мы

воспринимаем пространственное положение объекта в определенный момент времени, а фиксируем время в определенном месте. Отсюда Минковский предложил рассматривать понятие события, определяемого местом, где оно произошло, и временем, когда оно произошло, что фиксируется координатами x, y, z, t . Эту систему значений координат он назвал мировой точкой. Кривая, изображающая путь мировой точки, рассматривается как мировая линия. Точки этой линии определяют координаты частицы во все моменты времени. Если частица покоится или движется равномерно и прямолинейно, то ей соответствует прямая мировая линия.

Рассмотрим две инерциальные системы отсчета K и K' , движущиеся друг относительно друга с постоянной скоростью. Координатные оси выберем так, чтобы оси x и x' совпадали, а оси y и z были бы параллельны осям y' и z' . Время в системах K и K' обозначим через t и t' .

Пусть первое событие состоит в том, что из точки с координатами x_1, y_1, z_1 в момент времени t_1 (в системе отсчета K) отправляется сигнал, распространяющийся со скоростью света. Будем наблюдать из системы отсчета K за распространением этого сигнала. Пусть второе событие состоит в том, что этот сигнал приходит в точку x_2, y_2, z_2 в момент времени t_2 . Поскольку сигнал распространяется со скоростью света c , пройденное им расстояние равно $c(t_2 - t_1)$. С другой стороны, это же расстояние равно

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}.$$

В результате оказывается справедливым следующее соотношение между координатами обоих событий в системе K

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - c^2(t_2 - t_1)^2 = 0.$$

Те же два события, т.е. распространение светового сигнала, можно наблюдать из системы K' . Пусть координаты первого события в системе K' : x'_1, y'_1, z'_1, t'_1 , а второго: x'_2, y'_2, z'_2, t'_2 . Поскольку скорость света в системах K и K' одинакова, то аналогично предыдущему выражению имеем

$$(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2 + (z'_2 - z'_1)^2 - c^2(t'_2 - t'_1)^2 = 0.$$

Если x_1, y_1, z_1, t_1 и x_2, y_2, z_2, t_2 — координаты каких-либо двух событий, то величина

$$s_{12} = \sqrt{c^2 (t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2}$$

называется интервалом между этими двумя событиями.

Если два события бесконечно близки друг другу, то для интервала ds между ними имеем

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2.$$

Форма двух последних выражений позволяет рассматривать интервал, с формальной математической точки зрения, как «расстояние» между двумя точками в воображаемом четырехмерном пространстве (на осях которого откладываются значения x , y , z и произведение ct). Имеется, однако, существенное отличие в правиле составления этой величины по сравнению с правилами обычной евклидовой геометрии: при образовании квадрата интервала квадрат разности координат по временной оси входит со знаком плюс, а квадраты разностей пространственных координат – со знаком минус. Такую четырехмерную геометрию называют псевдоевклидовой в отличие от обычной, евклидовой, геометрии.

Легко можно увидеть, что $ds^2 = ds'^2$. Это означает, что пространственно-временной интервал инвариантен относительно преобразования координат. Свойство инвариантности интервала имеет большое значение, так как оно показывает, что скорость света c – одна и та же в обеих системах координат. Если же мы будем рассматривать только пространственный интервал, то увидим, что его величина меняется при переходе от одной системы координат к другой в соответствии с преобразованиями Лоренца, т.е. пространственный интервал – величина неинвариантная, что еще раз подтверждает необходимость совместного рассмотрения пространства и времени. «То обстоятельство, – писал Эйнштейн, – что нет объективного расщепления четырехмерного континуума на трехмерно-пространственный и одномерно-временной континуумы, имеет своим следствием, что законы природы получают свою логически удовлетворительнейшую форму лишь в том случае, когда их выражают как законы четырехмерного пространственно-временного континуума. В этом заключается сущность того значительного методического успеха, которым теория относительности обязана Минковскому».

Итак, основные идеи специальной теории относительности как физической теории пространства и времени можно сформулировать

в виде следующих утверждений. Пространственные и временные координаты образуют единое четырехмерное многообразие с псевдоевклидовой геометрией. Физические законы одинаковы во всех инерциальных системах, то есть в системах, движущихся с постоянными скоростями относительно друг друга. Длины и времена, измеряемые в какой-либо подобной системе, кажутся иными из другой системы, но результаты измерений связаны между собой преобразованиями Лоренца.

Но специальная теория относительности не решает всех проблем, связанных с описанием пространства, времени и движения. Так, в практике мы встречаем множество движений с ускорением. Таковы, например, все вращательные движения, а также движения под действием гравитации. Значит ли это, что в подобных системах происходит изменение форм законов при переходе от инерциальных систем к неинерциальным? Или можно обобщить принцип относительности на все системы отсчета? И можно ли геометризовать такую физику, т.е. выявить соответствующее ей пространство? На все эти вопросы, как и на многие другие, отвечает общая теория относительности.

§ 2. Общая теория относительности: история и современные проблемы

Из истории создания общей теории относительности

Общая теория относительности (ОТО), или, что точнее, релятивистская теория тяготения, является логическим продолжением, развитием специальной теории относительности. В предыдущем параграфе мы отмечали, что основные идеи специальной теории относительности (СТО) как физической теории пространства и времени формулируются в виде следующих утверждений. Пространственные и временные координаты образуют единое четырехмерное многообразие с псевдоевклидовой геометрией. Физические законы одинаковы во всех инерциальных системах, то есть в системах, движущихся с постоянными скоростями относительно друг друга. Длины и времена, измеряемые в какой-либо подобной системе, кажутся иными из другой системы, но результаты измерений связаны между собой преобразованиями Лоренца. Как справедливо заметил М. Борн, «специальная теория относительности Эйнштейна не порывает окончательно

но с ньютоновским абсолютным пространством... В известном смысле эта теория приводит всю физику, в том числе и электродинамику, в то состояние, в котором находилась механика со времен Ньютона». Проблема состояла в том, что СТО, подобно классической механике, сохраняла известную «привилегированность» инерциальных систем отсчета. Но ясно, что такие системы приближенны, абстрактны, идеализированы. В реальности же мы имеем дело с системами, движущимися с изменяющимися скоростями, т.е. неинерциальными. Отсюда естественным образом возникает вопрос: можем ли мы применить принципы СТО к неинерциальным системам?

В V разделе обзорной статьи, опубликованной в 1907 г., А. Эйнштейн этот вопрос ставит прямо: «До сих пор мы применяли принцип относительности, т. е. требование независимости законов природы от состояния движения системы отсчета, только к неускоренным системам отсчета. Можно ли представить себе, что принцип относительности выполняется и для систем, движущихся относительно друг друга с ускорением?... Этот вопрос должен возникнуть перед каждым, кто следил за применениями принципа относительности до настоящего времени...». Далее он предлагает достаточно стандартное решение поставленной задачи, к которому он, однако, пришел далеко не сразу. Как пишет А. Пайс, известный исследователь научной биографии Эйнштейна, при подготовке упомянутой обзорной статьи Эйнштейн «задумался над тем, каким образом следует видоизменить теорию тяготения Ньютона, чтобы она удовлетворяла СТО». И далее Пайс цитирует неопубликованную рукопись Эйнштейна, в которой он рассказывает: «Когда в 1907 г. я работал над обзорной статьей по СТО для журнала *«Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik»*, я попытался видоизменить теорию тяготения Ньютона так, чтобы ее законы соответствовали [специальной] теории относительности. Попытки такого рода продемонстрировали, что это возможно, но они не удовлетворяли меня, так как строились на физически необоснованных гипотезах». Далее в рукописи говорится: «И тогда мне в голову пришла счастливейшая мысль в моей жизни. Существование гравитационного поля может считаться лишь относительным, точно так же, как существование электрического поля, наводимого в результате электромагнитной индукции. Это связано с тем, что для наблюдателя, свободно падающего с крыши, гравитационное поле, по крайней мере, в его ближайшем окружении, не существует. В самом деле, если при этом наблюдатель бросает какие-то предметы, то они находятся по отношению к нему в состоянии

покоя или равномерного движения вне зависимости от их химического или физического состава (здесь, естественно, не учитывается сопротивление воздуха). Таким образом, наблюдатель имеет право утверждать, что находится в «покое». При таком подходе исключительно интересный экспериментально установленный закон, в соответствии с которым все тела падают с одинаковым ускорением, сразу приобретает глубокий физический смысл. Ясно, что если бы существовал один-единственный предмет, падающий в гравитационном поле не так, как другие тела, то это позволило бы наблюдателю установить, что вокруг него имеется поле тяготения, и он в нем падает. Если же таких предметов не существует (как с большой точностью демонстрирует эксперимент), то в распоряжении наблюдателя нет объективных средств обнаружения своего падения в гравитационном поле. В таком случае он вправе считать, что находится в покое в пространстве, лишенном поля тяготения. Экспериментально установленная независимость ускорения свободного падения от массы тела является, таким образом, мощным аргументом в пользу того, что постулат относительности может быть распространен на системы отсчета, находящиеся в относительном неравномерном движении».

В связи с этим для нашего исследования представляется важным отметить тот факт, что соответствующие теоретические и эмпирические предпосылки приведенных выше умозаключений Эйнштейна в физике были уже известны. Среди них, во-первых, закон свободного падения тел в гравитационном поле, сформулированный Г. Галилеем: все тела независимо от их массы движутся в гравитационном поле с одним и тем же ускорением. Во-вторых, полученный И. Ньютоном закон всемирного тяготения, согласно которому гравитационное притяжение между любыми двумя телами прямо пропорционально их массам и обратно пропорционально квадрату расстояния. В-третьих, принцип эквивалентности гравитационной и инертной массы. Масса, входящая в запись закона тяготения, называется гравитационной массой. Это понятие, вообще говоря, отличается от понятия инертной массы, входящей в запись второго закона Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$. Ньютон считал, что масса, входящая в запись закона тяготения, есть та же самая масса, которая входит в запись второго закона, другими словами, гравитационная и инертная массы равны. Этот принцип Ньютоном был только постулирован. В конце XIX в. данный принцип был проверен экспериментами Этвеша, который определил равенство гравитацион-

ной и инертной массы с точностью до восьмого знака после запятой. Равенство $m_{\text{ин}} = m_{\text{тяг}}$ показывает глубокую аналогию между движением тел в поле тяготения и движением тел в отсутствие тяготения, но относительно ускоренной системы отсчета. Однако до Эйнштейна все эти факты не были не только обобщены, но даже не сопоставлены друг с другом. Очевидно, без создания специальной теории относительности такое обобщение было невозможно.

Но рассмотрим же, как Эйнштейн предварительно решает поставленную им задачу (здесь и далее мы будем пользоваться более принятой сейчас символикой). Рассматриваются две системы отсчета K и K' . K движется с постоянным ускорением a в направлении своей оси X . Система K' покоится, но находится в гравитационном поле, которое сообщает всем телам ускорение – a в направлении оси X . Поскольку все тела в гравитационном поле ускоряются одинаково, постольку физические законы относительно K не отличаются от законов, отнесенных к K' . «Поэтому, – делает Эйнштейн вывод, – при современном состоянии наших знаний нет никаких оснований полагать, что системы отсчета... в каком-либо отношении отличаются друг от друга, и в дальнейшем мы будем предполагать полную физическую равноценность гравитационного поля и соответствующего ускорения системы отсчета. Это предположение распространяет принцип относительности на случай равномерно ускоренного прямолинейного движения системы отсчета. Эвристическая ценность этого предположения состоит в том, что оно позволяет заменить однородное поле тяжести равномерно ускоренной системой отсчета, которая до известной степени поддается теоретическому рассмотрению».

Есть еще один мысленный эксперимент, размышления над которым привели Эйнштейна к формулировке основных идей ОТО. Речь идет о так называемом парадоксе Эренфеста, сформулированным им в 1909 г. Этот парадокс гласит, что абсолютно твердое тело, например диск или цилиндр, невозможно привести во вращение, скорость которого близка к световой. Согласно специальной теории относительности движущееся тело должно претерпевать сокращение в направлении движения, т.е. при вращении длина окружности вращающегося тела должна уменьшаться, а радиус остается неизменным. Эйнштейн предположил, что в действительности абсолютно твердый диск может вращаться с большой скоростью, а изменение отношения длины окружности к ее радиусу связано с искривлением пространства. Действительно, если пространство будет иметь положительную или отрицательную

кривизну, то отношение длины окружности к радиусу изменится: окружность одного и того же радиуса будет иметь различную длину в зависимости от кривизны пространства.

Некоторые основные выводы общей теории относительности

Таким образом, в общей теории относительности идея относительности распространяется и на неинерциальные движения. Это позволяет показать, что все физические законы выражаются в форме, не зависящей от конкретного выбора пространственно-временных координат, так как в противном случае любое различие могло бы послужить критерием выделения абсолютного движения и абсолютной системы координат. Но это предполагает учет эффектов гравитационного воздействия. Дело в том, что связывая изменения численных значений при сохранении формы уравнений физики независимо от системы отсчета с наблюдаемыми изменениями гравитационного поля, можно сохранить идею относительности всех движений.

Поясним этот тезис. Представим себе систему координат, находящуюся в пустом псевдоевклидовом пространстве. Ясно, что если пространство пустое, то сила тяжести, т.е. гравитационное поле, отсутствует, и, таким образом, в этой системе отсчета отсутствует вес. Пусть наша система начинает двигаться с ускорением $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Тогда явления в ней будут происходить так же, как и в однородном гравитационном поле. Иными словами, в системе координат, движущейся с равномерным ускорением, имитируется гравитационное поле. Это и есть известный принцип эквивалентности Эйнштейна.

Результаты измерений, полученные в такой равноускоренно движущейся системе, будут идентичны результатам измерений, полученным в системе, движущейся равномерно в гравитационном поле (разумеется, только в том случае, если ускорение движения в пустом пространстве равно по величине и противоположно по направлению ускорению, получаемому под воздействием гравитационного поля). Примечательно, что в случае свободного падения в гравитационном поле эффекты гравитации исчезают и мы получаем инерциальную систему координат.

Если гравитационное поле неоднородно, т.е. меняется от точки к точке, то, видимо, можно выбрать такую достаточно малую область

каждой точки, где эффекты гравитации можно нейтрализовать в системе координат, свободно падающей с ускорением, соответствующим силе тяжести, которая действует в данной области. Но тогда метрика пространства будет также меняться от области к области, от точки к точке. Поэтому для определения интервала на таком пространстве необходимо использовать формулу

$$ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k \quad (g_{ik} = g_{ik}), \quad (1)$$

в которой компоненты метрического тензора g_{ik} уже зависят от координат: $g_{ik} = g_{ik}(x_1, x_2, x_3)$.

Это утверждение равносильно высказыванию, что метрика пространства определяется гравитацией, или распределением гравитирующих масс, а само пространство – искривленное. Его кривизна характеризуется значениями метрического тензора. Но каким образом можно установить, вычислить, как гравитирующая масса определяет геометрию?

Известно, что геодезическая линия в искривленном пространстве вычисляется путем приравнивания к нулю вариации длины линии АВ: $\partial \int_A^B ds = 0$. Подставляя сюда ds из выражения (1) и проводя вычисления, получаем уравнение геодезической линии:

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} = -\frac{1}{2} g^{im} \left(\frac{\partial g_{im}}{\partial x^k} + \frac{\partial g_{km}}{\partial x^i} - \frac{\partial g_{km}}{\partial x^m} \right) \frac{dx^i}{ds} \frac{dx^k}{ds}.$$

Пусть

$$\frac{1}{2} g^{im} \left(\frac{\partial g_{im}}{\partial x^k} + \frac{\partial g_{km}}{\partial x^i} - \frac{\partial g_{km}}{\partial x^m} \right) = \Gamma^i_{ik}.$$

Это выражение, называемое символами Кристоффеля, представляет собой, как мы писали ранее, комбинации первых производных от метрического тензора g_{ik} . Тогда

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} = -\Gamma^i_{ik} \frac{dx^i}{ds} \frac{dx^k}{ds}. \quad (2)$$

Уравнение (2) показывает, что движение частицы от ее массы не зависит: оно определяется только свойствами пространства-времени, в котором происходит ее движение. Выражение $d^2 x/ds^2$ представляет

собой ускорение движения частицы (аналогично d^2x/dt^2 – ускорению в ньютоновской механике). Таким образом, мы получили уравнение движения частицы в гравитационном поле. Для получения уравнений, описывающих само гравитационное поле, воспользуемся известным из дифференциальной геометрии выражением тензора Римана – Кристоффеля R_{mki} через символы Кристоффеля:

$$R_{mki} = \frac{dx_{km}^s}{dx^i} - \frac{dx_{kl}^s}{dx^m} + \Gamma_{ip}^s \Gamma_{km}^p - \Gamma_{mp}^s \Gamma_{kl}^p.$$

Как мы уже отмечали, из тензора четвертого ранга R_{mki} можно получить тензоры более низких рангов: $R_{ik} = R_{mki}$, $R = R_{ik}g_{ik}$, – т.е. соответственно тензор Риччи и скалярную кривизну. Опираясь на все эти уравнения, Эйнштейн предположил, что

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \chi T_{ik}, \quad (3)$$

где R_{ik} и R – тензоры кривизны; χ – эйнштейновская гравитационная постоянная ($\chi = 8\pi g/c^4$); g – гравитационная постоянная Ньютона; c – скорость света; T_{ik} – тензор энергии-импульса материи, находящейся в искривленном пространстве.

Из уравнений (3) следует, что искривленность пространства-времени (левая, геометрическая часть) определяется величинами физических характеристик материи, находящейся в этом пространстве-времени (правая часть уравнений). Таким образом, кривизна пространства-времени приобретает физическую значимость. Уравнения (3) представляют собой третий принцип общей теории относительности. Они отражают зависимость метрического (геометрического) и гравитационного полей от состояния пространства-времени и позволяют вычислять гравитационные эффекты при известных распределениях материи и энергии.

Разработка общей теории относительности и ее экспериментальные подтверждения окончательно закрепили переход от представления о пространстве как о пустом и абсолютном вместилище мира к представлению о пространстве как об объекте, структура которого определяется материей. Но именно физические взгляды на пространство породили новые проблемы и собственно физического, и философского плана. Что касается физических проблем, то речь идет прежде всего о пространстве Вселенной, так как на первый взгляд имен-

но гравитационные взаимодействия являются ведущими в формировании ее структуры.

Экспериментальные подтверждения общей теории относительности

Искривление луча света при прохождении в поле тяготения

Галилей установил, что тела, на которые не действуют силы, движутся прямолинейно. Эйнштейн обобщил этот закон в следующем виде: тело, на которое не действуют силы, движется в поле тяготения по геодезическим. Это предсказание ОТО было проверено экспериментально английским астрофизиком А. Эдингтоном 29 мая 1919 г. во время солнечного затмения.

Согласно ОТО, отклонение светового луча у края Солнца должно достигать $1,74''$, что для астронома должно быть вполне заметным. Эддингтон пытался установить наличие этого эффекта, фотографируя звездное небо во время солнечного затмения и сравнивая с фотографией того же участка неба ночью. Результаты измерений показали, что наблюдаемое отклонение уменьшалось с удалением от Солнца.

Наблюдения Эддингтона были первой проверкой ОТО. 6 ноября 1919 г. после пяти месяцев анализа фотографий, на совместном заседании Королевского научного общества и Королевского астрономического общества было объявлено, что предсказания, сделанные Эйнштейном на основе общей теории относительности, подтвердились. Эта дата – дата триумфа общей теории относительности. За короткое время весть об этом успехе облетела весь мир, и ОТО по праву обрела статус научной теории.

Подобные измерения проводились еще несколько раз до 1970 г., когда был изобретен радиотелескоп. Дальнейшие измерения отклонения волн в гравитационном поле Солнца проводились в радиодиапазоне и отношение наблюдаемой величины к вычисленной согласно ОТО составляет $0,99997 \pm 0,00016$.

Эффект отклонения луча света в поле тяготения проявляется при наблюдениях «линзирования» или фокусировки электромагнитных волн, испущенных источником находящимся за областью сильного гравитационного поля. Отклонение лучей дает изображение удаленного источника в виде кольца, если и источник и гравитационная линза лежат на одной прямой с наблюдателем или в виде двух дуг, одна из

которых лежит внутри, а другая снаружи кольца, возникающего при центральном положении. Если масса звезды, действующей как линза меньше массы Солнца, то различить изображения не представляется возможным, но эффект проявляется как суммарное увеличение яркости (так называемое микролинзирование). Первая гравитационная линза была обнаружена в 1979 г. для квазара, а в настоящее время наблюдения линзирования и микролинзирования достаточно распространены и широко используются в астрономии для обнаружения различных эффектов. Так в 1994 г. с помощью микролинзирования был обнаружен новый класс слабосветящихся звезд – коричневые карлики.

Изменение частоты света при его распространении в гравитационном поле.

Из теории Эйнштейна следует, что при движении в гравитационном поле свет должен терять энергию, подобно тому как брошенный вверх камень теряет кинетическую энергию, замедляя скорость. Потеря энергии светом проявляется как увеличение длины волны, то есть как смещение в красную сторону спектра. Это смещение в условиях Земли очень мало – порядка 10^{-15} , поэтому экспериментально обнаружить его удалось лишь в 1960 г.

Первые точные измерения гравитационного красного смещения были проделаны Р. Паундом и Г. Ребке для гамма лучей, которые направлялись вверх и вниз в башне Гарвардской лаборатории. В результате было обнаружено изменение длины волны гамма лучей, которое с точностью до 10 % согласовывалось с предсказаниями общей теории относительности. В 1976 г. этот эффект был измерен Р. Вессо с точностью до 0,02 %. В этом эксперименте исследовалось смещение спектральных линий атомов водорода при движении ракеты в поле Земли. Оба эксперимента показали, что с ростом силы гравитационного поля возрастает смещение в красную часть спектра.

Замедление темпов хода часов в гравитационном поле.

Теория относительности предсказывает замедление хода часов при помещении их в гравитационное поле. Первый эксперимент заключался в том, что очень точные атомные часы были отвезены высоко в горы, где гравитационное поле слабее и после нескольких часов сравнили показания с предварительно синхронизированными часами, остававшимися на равнине. Точность этого эксперимента была не велика – 5%. В более точном эксперименте часы были помещены на самолет, который непрерывно летал в течение 14 ч.

Окончательная разница в ходе часов была 45 нс, что подтверждало ОТО с точностью до 1%.

Эффект замедления времени проявляется и в большем времени распространении света в поле тяготения Солнца. Экспериментально этот эффект был обнаружен при наблюдении в радиотелескоп за прохождением Меркурия и Венеры за диском Солнца. ОТО предсказывает замедление времени прохождения луча света у края Солнца на 2×10^{-4} с. В 1980 г. предсказания теории были измерены с точностью до 2%.

Смещение перигелия Меркурия.

Перигелием называется самая близкая к Солнцу точка эллиптической орбиты (противоположная ей самая удаленная от Солнца точка называется афелием). Ньютоновская теория тяготения предсказывала, что орбита Меркурия должна прецессировать на угол, равный 532 угловым секундам за 100 лет. Поворот орбиты объяснялся гравитационными возмущениями движения Меркурия со стороны других планет Солнечной системы. В 1859 г. было установлено, что орбита Меркурия поворачивалась за столетие на 43'' больше. Это расхождение на протяжении полувека волновало астрономов.

В 1915 г. Эйнштейн смог объяснить дополнительную прецессию Меркурия. Он использовал эквивалентность массы и энергии и учел вклад не только масс тел, но и их энергий. Объяснение давно известной аномалии было первым успехом новой теории.

Потеря энергии при излучении гравитационных волн.

Этот эффект был установлен при наблюдении за пульсарами в двойной звездной системе. Пульсары – это звезды, которые очень быстро вращаются и могут обладать очень сильным магнитным полем. Пульсары впервые были открыты в 1967 г. радиоастрономами, зафиксировавшими регулярно повторяющиеся радиосигналы, приходящие из космоса. Необычайная точность, с которой они повторялись, сначала навела астрономов на мысль о разумной жизни, но в течение полугода было обнаружено еще три таких объекта, и была принята гипотеза о природном происхождении этих сигналов.

Нейтронная звезда – один из этапов звездной эволюции достаточно массивных звезд. Истощив ядерное горючее, звезда оказывается не в силах противостоять быстрому гравитационному сжатию, сопровождаемому взрывом сверхновой. При сжатии происходит «вдавливание» электронов в протоны с образованием нейтронов. Звезда под дей-

ствием гравитации сжимается в очень плотный объект – нейтронную звезду, со средней плотностью $\rho \geq 10^{12} \text{ г / см}^3$.

Чтобы момент импульса сохранялся при уменьшении размеров вращающегося тела, его скорость должна увеличиться. Наглядно действие закона сохранения импульса можно продемонстрировать на примере вращающегося фигуриста: скорость его вращения увеличивается, когда он прижимает руки. Нейтронная звезда, сжавшаяся до очень маленьких размеров, начинает очень быстро вращаться. Например, скорость вращения самого быстрого пульсара, открытого в 2007 г., – 1 122 об / с.

Эффект излучения гравитационных волн был впервые отслежен на бинарном пульсаре созвездия Орла, паре нейтронных звезд вращающихся друг относительно друга, одна из которых – пульсар. Этот двойной пульсар уникален тем, что в нем намного заметнее релятивистские эффекты. Общая теория относительности предсказывает, что подобная орбита медленно сжимается, потому что происходит потеря энергии вследствие излучения гравитационных волн. Для большинства пульсаров время, в течение которого период возрастает вдвое, совпадает по порядку величины с их возрастом и составляет миллионы и десятки миллионов лет. Этот процесс действительно был зафиксирован экспериментально (измеренное значение составляет $2,4 \times 10^{-12} \text{ с}$, что совпадает с предсказаниями до 1 %).

Эффект потери энергии за счет излучения гравитационных волн был обнаружен и при изучении двойных звезд. При изучении двойного пульсара *PRS 1913+16* (где буквы обозначают сокращение от слова *pulsar*, а цифры – положение на небесной сфере – восхождение и склонение) было обнаружено, что компоненты этой двойной звезды сближаются ежегодно на несколько метров. Количественно эффект совпадает с предсказанным ОТО.

§ 3. Дальнейшее развитие общей теории относительности

Итак, ранее мы описали период начального становления ОТО, когда были сформулированы основные идеи и получены первые экспериментальные подтверждения. Дальнейшее теоретическое развитие ОТО происходило в трех различных направлениях.

1) Математическое развитие теории, связанное с поиском решений уравнения Эйнштейна и преодолением ряда теоретических проблем, одной из которых является проблема существования сингулярностей.

2) Расширение применения ОТО в космологии, получение новых проверяемых следствий, предсказание и описание крупномасштабных свойств Вселенной.

3) Развитие идей великого объединения, построение теории непротиворечиво совмещающей описание всех четырех видов фундаментальных взаимодействий.

Последовательно рассмотрим основные пути развития ОТО.

Математическое развитие теории

Основные векторы математического развития ОТО – это поиск решений центрального уравнения ОТО – уравнения Эйнштейна, а также преодоление математических проблем, таких как проблема существования сингулярностей, определение геометрической структуры пространства, задание значений гравитационного потенциала на бесконечности.

Поиск решений уравнения поля

Уравнения Эйнштейна представляли собой систему шестнадцати уравнений второго порядка в частных производных и поиск решений этих уравнений был задачей затруднительной. Первое решение уравнения Эйнштейна для точечной массы были предложены в 1916 г. К. Шварцшильдом. Поиск уравнений поля выполнялся при следующих условиях: «Если x_1, x_2, x_3 – прямоугольные координаты, а через x_4 обозначено время, и если мы хотим, чтобы масса в начале координат не менялась со временем, а движение на бесконечности было равномерным и прямолинейным, то, согласно расчетам г-на Эйнштейна..., должны выполняться еще следующие требования.

Все компоненты метрики не должны зависеть от времени x_4 .

Равенства $g_{p4} = g_{4p} = 0$ должны выполняться строго при $p = 1, 2, 3$.

Решение должно быть симметричным в пространстве вокруг начала координат, то есть переходить само в себя при ортогональном преобразовании координат x_1, x_2, x_3 (вращении).

На бесконечности должны обращаться в нуль все величины $g_{\mu\nu}$, кроме четырех, имеющие следующие отличные от нуля предельные значения:

$$g_{44} = 1, g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1.$$

Поиск решения, удовлетворяющего уравнениям поля и четырем перечисленным условиям привел к нахождению решения, зависящего от параметра массы и имеющего разрыв. «Точное решение показывает, что в действительности в более высоких приближениях разрыв появится не в начале координат, а в точке $r = (\alpha^3 - \rho)/3$ », где α и ρ – постоянные интегрирования, начало координат выбиралось в центре масс. Условие непрерывности, а также то обстоятельство, что угловая скорость при уменьшении радиуса орбиты не возрастает безгранично, как это следует из закона Ньютона, а стремится к конечному пределу $n_0 = 1/\alpha\sqrt{2}$, привели Шварцшильда к открытию предельного значения размера тела – гравитационного радиуса, величина которого зависит от параметра массы. Гравитационный радиус зависит от массы тела и характеризует размер звезды данной массы по достижении которого она должна сколлапсировать в черную дыру. Этот же предел был открыт Лапласом, сфера данного радиуса представляет собой ловушечную поверхность с которой свет не может уйти за пределы сферы. Позже было доказано, что все времени-подобные траектории, исходящие из любой точки внутри ловушечной поверхности должны обязательно пересечь сингулярность при $r=0$.

Решение для вращающегося сферического массивного тела было предложено в 1963 г. Р. Керром, указавшим явный вид метрики.

Заметим две особенности, характерные для данного периода развития ОТО. Во-первых, масса всегда рассматривалась как точечная, центр масс представлял собой особую точку поля. Уравнения движения получались для особых точек, потому что Эйнштейн с самого начала надеялся включить в рамки ОТО электромагнитное взаимодействие. Центральное-симметричное решение уравнений с точечной особенностью должно было соответствовать случаю движения электрона во внешнем поле. Рассмотрение тяготеющих масс как протяженных было предпринято позже и сопровождалось отказом от надежд объединить гравитацию с электромагнетизмом и объяснить элементарные частицы как особые точки поля.

Вторая особенность поиска решений уравнений в ранний период развития ОТО состояла в том, что вышеперечисленные решения выбирали центр масс в качестве начала системы отсчета. Поэтому возникал вопрос о значении потенциала гравитационного поля в точках, бесконечно удаленных от начала координат. Фок показал, что координатная

система может быть выбрана однозначно с точностью до преобразования Лоренца, но исследования предпринятые Эйнштейном ранее привели к переосмыслению понятия массы и введению им в уравнение поля лямбда-члена.

Определение граничных условий. Согласование представлений о пространстве и массе. Введение космологического члена

Уравнения гравитационного поля требовали дополнительного уточнения граничных условий для пространственной бесконечности. Эта же проблема стояла перед Ньютоном, но требование задать конечное значение гравитационного потенциала ϕ вело к представлению о том, что плотность материи на бесконечности обращается в нуль. «Если больцмановский закон распределения молекул газа применить к звездам, рассматривая звездную систему как газ, находящийся в стационарном тепловом движении, то получается, что ньютоновская Вселенная вообще не могла бы существовать, так как конечной разности потенциалов между центром и бесконечностью соответствует конечное отношение плотностей. Следовательно, нулевая плотность на бесконечности влечет за собой нулевую плотность в центре».

Чтобы решить эту проблему Эйнштейн формулирует предположение, развитое в дальнейшем в космологический принцип: распределение вещества в бесконечном пространстве равномерно. Такой мир не имеет центра по отношению к гравитационному полю, гравитационный потенциал и средняя плотность были бы постоянны вплоть до бесконечности. Материя при постоянной плотности находится в равновесии не требуя дополнительных сил. Данное предположение позволяло преодолеть противоречие между ньютоновской и статистической механикой, но появляется новая трудность.

Эйнштейн не делал различия между тяготением и инерцией. Относительно последней он придерживался принципа Маха: инерция тела не является абсолютной, но определяется влиянием бесконечно удаленных масс. «В последовательной теории относительности нельзя определять инерцию по отношению к «пространству», но можно определять инерцию масс относительно друг друга. Поэтому, если я удаляю какую-нибудь массу на достаточно большое расстояние от всех других масс Вселенной, то инерция этой массы должна стремиться к нулю».

Из предположения о бесконечности мира ненулевой плотности, следовало бесконечно большое значение потенциальной энергии на

пространственной бесконечности. Однако факт, что скорости звезд намного меньше скорости света, приводил к заключению, что всюду потенциал гравитационного поля не может быть существенно больше, чем в близкой части Вселенной.

Последняя возможность – положить значения потенциала поля на бесконечности стремящимися к конечным значениям (в соответствии с тензором Римана) тоже закончилась неудачей. Конечные граничные условия требовали выбора некоторой привилегированной системы отсчета, что противоречило принципу относительности. Эйнштейну пришлось бы также отказаться и от относительности инерции, следующей из принципа Маха: «инерция материальной точки с естественно измеренной массой m зависит от $g_{\mu\nu}$, но последние лишь очень мало отличаются от постулированных значений на пространственной бесконечности. Благодаря этому, хотя материя (находящаяся на конечном расстоянии) и влияет на инерцию, но все-таки не обуславливает последнюю. Если бы существовала только одна материальная точка, то она, согласно этому представлению, обладала бы почти такой же инерцией, как в том случае, когда она окружена всеми прочими массами нашего реального мира». Наконец, тело, обладающее конечной кинетической энергией, может достигнуть пространственной бесконечности при конечном значении потенциала и навсегда покинуть ее.

Эйнштейн признал, что ему не удалось установить граничные условия на бесконечности, и он стал рассматривать мир как конечный сферический и замкнутый. Хотя в этом случае проблема нахождения условий на бесконечности отпала, уравнения поля были несовместимы с условием пространственной замкнутости. Эйнштейну пришлось ввести фактор обеспечивающий стабильность ограниченного пространства: космологический член. Его единственной задачей было обеспечение возможности квазистатического распределения материи в замкнутом пространстве. После открытия Фридманом моделей нестационарной вселенной, Эйнштейн назвал введение космологической постоянной своей самой большой ошибкой.

Тема определения граничных условий продолжает обсуждаться и сегодня, но уже в аспекте определения начальных условий во времени. Вселенная началась с сингулярности и скорость ее расширения почти в точности совпадает с критической скоростью, разделяющей бесконечное расширение и обратный коллапс. Согласно С. Хокингу «предположение об отсутствии границ может объяснить, почему скорость расширения Вселенной до сих пор так близка к критической».

Кроме того, условие отсутствия границ используется для объяснения существования локальных неоднородностей в однородном и изотропном пространстве.

Проблема сингулярностей

В начальный период теоретики концентрировались в основном на проблемах определения значений гравитационного потенциала на бесконечности. Массы представлялись в виде особых точек, такого подхода придерживался Эйнштейн надеявшийся, что удастся описать массы по аналогии с элементарными частицами как особенности соответствующего поля и применить полевой подход к описанию гравитационных явлений.

Одна из первых попыток рассмотреть массивные тела как протяженные и определить значения гравитационного поля внутри тяготеющих масс, была сделана в 1939 г. В.А. Фоком и сопровождалась отказом от попыток объединения гравитационного и электромагнитного взаимодействия: «Для нас общая теория относительности есть прежде всего теория тяготения. Применяться она должна к тем явлениям, в которых тяготение играет преобладающую роль, т.е. в первую очередь к явлениям астрономического масштаба. Мы полагаем поэтому, что проблемы общей теории относительности не могут иметь ничего общего с проблемой структуры элементарных частиц и вообще с проблемами атомного масштаба».

Фок установил тесную связь массы со свойствами пространства, указав, что эквивалентность массы и энергии связана с уравнениями Эйнштейна и что в выражение для ньютонова потенциала на больших расстояниях «к сумме масс отдельных тел прибавляется их полная энергия деленная на квадрат скорости света». Он построил тензор материи как функцию от координат и времени, что позволило ему определять гравитационный потенциал также и внутри масс. «Такое совместное рассмотрение областей вне и внутри масс (внешняя и внутренняя задачи) является необходимым для формулировки условий, обеспечивающих единственность решения». Ему удалось явно показать, что уравнения поля уже содержат в себе уравнения движения масс и не нуждаются в дополнительном уточнении граничных условий.

В том же году были выведены условия образования нейтронных сердцевин в звездах и рассмотрен механизм образования черных дыр.

Дальнейшие усилия теоретиков были сосредоточены вокруг проблемы сингулярностей.

Последняя стала предметом пристального внимания после исследований космологических проблем: определения общей топологии пространства-времени, бесконечности или конечности Вселенной, рассмотрения вопроса содержит ли она бесконечное количество вещества. Толчком к исследованиям проблемы сингулярностей послужили исследования А. Фридмана, работы Эддингтона, а также открытие астрономами сверхмассивных звездных скоплений.

Кроме того, установлено, что все вещество нынешней Вселенной порядка 10¹⁰ лет назад было сосредоточено в крайне малой пространственной области. Это следует из факта расширения Вселенной и из уравнений теории относительности, поэтому попытка задать начальные условия приведет к сингулярности вблизи которой радиус кривизны пространства может быть сколь угодно малым. Следующие из предположения о начальной сингулярности вопросы касаются причинности, объяснения локальных неоднородностей типа звездных скоплений при предположении однородности и изотропности пространства.

Известно также, что в ходе гравитационного коллапса вещество сжимается до состояний высокой плотности, приходя в сингулярное состояние с бесконечным значением кривизны.

Открытие мощных радиоисточников обострило вопрос наличия сингулярностей, поскольку астрономы связали эволюцию звезд с величиной ее массы. Исследуя уравнение состояния массивных звезд в 1935 г. С. Чандрасекар получил диаграмму масса-радиус из которой следовало различие путей звездной эволюции в зависимости от массы звезды: «История жизни звезды малой массы должна существенно отличаться от истории жизни звезды большой массы. Для звезды с малой массой естественно достигаемое состояние белого карлика является первым шагом к полному угасанию. Звезда с большой массой не может превратиться в белого карлика, и для нас необходимо искать другие возможности. «В ходе своей эволюции массивные звезды после исчерпания ядерных источников энергии должны коллапсировать до размеров порядка 10⁻²⁰ км. В процессе коллапса значительная доля их массы будет возвращаться в межзвездное пространство (в «переработанном» виде). Если выброшенная доля массы такова, что остаток попадает в область масс для стабильных нейтронных звезд, возникает пульсар... Более правдоподобно, что звезда сбрасывает то слишком

большую массу, то слишком малую. В таких случаях остаток не может приобрести устойчивое состояние и процесс коллапса должен продолжаться до тех пор, пока силы тяготения не возрастут настолько, что произойдет событие, которое Эддингтон считал невозможным: «гравитация окажется такой сильной, что удушит излучение». Иными словами, должна возникнуть черная дыра». Таким образом, Чандрасекар показал, что для достаточно массивных звезд конечного равновесного состояния не существует.

Его рассуждения проводились для сферически симметричных случаев, что представляет собой особый случай. В 1965 г. Р. Пенроуз обобщил эти рассуждения не делая предположений о симметрии. «Отклонения от сферической симметрии не могут предотвратить возникновения пространственно-временных сингулярностей, если выполняются некоторые критические условия. Если же, как это представляется оправданным, не должно допускаться возникновения настоящих физических сингулярностей в пространстве-времени, с неизбежностью следует ожидать выполнения внутри коллапсирующего объекта по крайней мере одного из следующих условий: а) локальное появление отрицательной энергии; б) нарушения уравнения Эйнштейна; в) неполнота пространственно-временного многообразия; г) при очень больших значениях кривизны понятие пространства-времени теряет смысл – возможно, вследствие квантовых явлений».

Исследуя вопрос о том, является ли состояние сингулярности необходимым свойством моделей однородного изотропного пространства, Пенроуз и Хокинг в 1970 г. показали необходимость наступления сингулярностей. Данный анализ стал возможен благодаря внедрению Пенроузом новых математических методов таких как твисторы, спиноры и методы качественного анализа – диаграммы Картера – Пенроуза. Новые методы позволили изучать свойства уравнений ОТО, не имея их точного решения.

Необходимость существования сингулярностей следует из существования поверхности Коши для открытого множества, при условии строгого выполнения причинности и условия, которое С. Хокинг назвал «глобальной гиперболичностью». Математически строгая причинность выражается как отсутствие замкнутых или почти замкнутых времени-подобных кривых. Условие глобальной гиперболичности предполагает наличие компактного замыкания для пересечения будущего одной точки с прошлым другой. Линии движения по инерции в искривленном пространстве называются геодезическими. В силу того,

что гравитация является притягивающей силой, геодезические сближаются что и служит причиной появления особых точек.

С. Хокинг дает следующее определение сингулярностей: «Пространство-время является сингулярным, если оно содержит неполные времениподобные или нулевые геодезические, но при этом не может быть вложено в большее пространство-время». Неполнота геодезических означает, что мировые линии некоторых объектов имеют начало и конец во времени, что поднимает вопросы причинности, сохранения информации и роста энтропии.

Теоремы о существовании сингулярностей формулировались при следующих условиях: энергетическом условии, утверждающем что плотность энергии-материи всегда неотрицательна. Описание особых точек на языке термодинамических понятий позволило С. Хокингу доказать возможность квантового испарения черных дыр, а также наличия у них температуры и энтропии. Поскольку последняя величина связана с понятием информации, то возникла проблема сохранения информации. Суть этой проблемы состоит в том, что стационарная черная дыра характеризуется только тремя параметрами: массой, зарядом и моментом вращения (теорема об отсутствии волос). Коллапсирующее вещество описывается гораздо большим числом параметров, однако образуемая черная дыра не зависит от типа втянутой материи и теряет информацию о поглощенном веществе.

Можно считать, что информация заключена внутри черной дыры, но квантовое испарение, приводящее к исчезновению черных дыр приводит к потере заключавшейся в них информации. Данная возможность обусловлена квантовым принципом неопределенности, но, с точки зрения С. Хокинга «эта потеря информации приводит к новому уровню неопределенности в физике, стоящей над обычной неопределенностью, связанной с квантовой теорией». Возможно часть информации возвращается в процессе квантового испарения, но большая часть информации оказывается потерянной при коллапсе. Наличие особых точек поднимает вопрос о субмикроскопической структуре пространства-времени и может оказаться существенным для понимания физики элементарных частиц.

Одной из особенностей сингулярностей пространства-времени в ОТО является наличие гравитационной энтропии. Сингулярности указывают на то, что пространство-время имеет начало благодаря гравитации и, возможно, имеет конец. Начальные и конечные сингулярность различаются количеством информации: прошлые сингулярности

содержат мало информации, а будущее – много. Поскольку с ростом информации растет и энтропия, асимметрия этих сингулярностей обеспечивает функционирование второго начала термодинамики и задает направление времени. «Поскольку происхождение второго начала может быть связано с асимметрией структуры пространственно-временной сингулярности, этим подтверждается, что проблема измерений в квантовой теории и проблема сингулярности в ОТО взаимосвязаны».

Исследования Пенроуза и Хокинга показали, что структура сингулярностей может служить основой определения направления течения времени, в то время как ранее считалось что направление времени принимается конвекционально: «Обычно некоторое направление времени в отношении которого звезда коллапсирует дается как априорное для физической причинности. Причинность и объяснение строго не направлены, задача физиков объяснить или предсказать поздние стадии системы на языке ранних стадий которые появляются перед ними. Обычно эти ранние стадии могут быть названы «начальные условия» начиная с которых система эволюционирует. В случае черной дыры можно найти пространственноподобную гиперповерхность (поверхность Коши) физические условия которой определяют условия произвольной области в пространстве-времени единственным образом. Тогда можно утверждать, например, что малые отклонения от точной симметрии на этой «начальной» гиперповерхности не скрывают информации о черном теле».

Понятие сингулярности как особой точки в окрестности которой кривизна пространства и плотность материи принимает бесконечные значения не согласуется с предположениями о гладкости пространственно-временного континуума. Пространство-время в ОТО принимается глобально однородным, что делает затруднительным описание возникновения локальных скоплений материи, таких как например, галактики. Описание процесса образования звездных скоплений в рамках предшествующих моделей, таких как инфляционная не решает данной проблемы. Привлечение квантовых теорий при исследовании сингулярностей в рамках теории квантовой гравитации приводит к приложению принципа неопределенности к гравитации. «В ОТО существует изначально присущая этой теории неопределенность энергии гравитации, что, в частности, связано с тем вкладом, который она может добавить в суперпозицию состояний. В ОТО энергия гравитации нелокальна: гравитационная потенциальная энергия дает (отрицатель-

ный) нелокальный вклад в полную энергию, и гравитационные волны могут уносить от системы (положительную) нелокальную энергию. При определенных обстоятельствах даже плоское пространство-время может давать вклад в полную энергию».

Происхождение неоднородностей обусловлено квантовыми процессами на ранних стадиях развития Вселенной, добавившими элемент случайности в эволюцию однородной ранней Вселенной. Галактики формируются на основе гравитационного притяжения области пространства, имеющей имевшей малую флуктуацию плотности на ранней стадии развития.

Подводя итоги, заметим, что наличие сингулярностей свидетельствует о неполноте ОТО, поскольку законы физики неприменимы в областях, близких к окрестности особой точки. С. Хокинг описал эту ситуацию следующим образом: «классическая общая теория относительности сама приводит к собственной гибели: она предсказывает, что не может предсказать Вселенную... Почему законы природы для начальной Вселенной должны отличаться от законов природы, действующих в других точках? Если все точки эквивалентны, то среди них не может быть более эквивалентных, чем остальные». Существование сингулярности является следствием законов ОТО и поднимает ряд вопросов: причинности, направления времени, гравитационной энтропии, потери информации в черных дырах, эволюции Вселенной.

Применения ОТО в космологии

ОТО является теоретической основой современной космологии. Основные вопросы о крупномасштабных свойствах Вселенной были сформулированы именно благодаря ОТО. Последовательно ставились и решались проблемы определения кривизны пространства, геометрии пространства, проблему определения критической плотности Вселенной и следующую из нее проблему определения массы нейтрино. ОТО лежит в основе моделей звездной эволюции, на ее основе были открыты новые астрономические объекты, такие как черные дыры. Открытие Шварцшильдом горизонта событий позволило описать последовательность звездной эволюции в зависимости от массы звезды. Предсказанное ОТО искривление луча света вблизи тяготеющих масс положено в основу метода гравитационного линзирования, используемого для оценки масс звездных скоплений.

С другой стороны, астрономические открытия стимулировали дальнейшее развитие ОТО. Например, открытие сверхмассивных звезд привлекло особое внимание к проблеме сингулярностей.

Первые следствия решения уравнения Эйнштейна для космологии были получены В. де Ситтером в 1917 г. Де Ситтер обсуждал возможность определения значения потенциалов гравитационного поля на бесконечности при различных предположениях о характере распределения масс. Эйнштейн выделял три возможности: положить значения гравитационных потенциалов нулевыми, равными конечным значениям и бесконечными. С точки зрения Эйнштейна все три возможности оказались неудовлетворительными и он ввел замкнутый сферический мир положительной кривизны. Де Ситтер рассматривает эллиптическое пространство положительной кривизны (система А), гиперболическое пространство или пространство Лобачевского с постоянной отрицательной кривизной (система Б) и плоское пространство (система В).

Исследуя согласованность значений гравитационного потенциала с представлением о распределении масс, де Ситтер вводит два постулата: «Если выбрана система отсчета для пространственных и временных переменных, то из этих уравнений можно получить компоненты $g_{\mu\nu}$ с точностью до постоянных интегрирования или граничных условий на бесконечности. Таким образом, лишь отклонения фактических значений $g_{\mu\nu}$ от этих значений на бесконечности обязаны воздействию масс (matter), причем механизм этого воздействия определяется уравнениями (2) или (2'). Если бы все компоненты $g_{\mu\nu}$ были бы равны нулю на бесконечности, то мы с полным правом могли бы сказать, что не только гравитация, но и вся инерция обусловлена таким воздействием. Подобные соображения легли в основу постулата о том, что все компоненты $g_{\mu\nu}$ равны нулю на бесконечности. Я назвал его математическим постулатом об относительности инерции.

Если же убрать все массы, кроме одной материальной частицы, будет ли она обладать инерцией? Школа Маха требует ответить: Нет. Но если под «всеми массами» подразумевать все вещество, известное нам: звезды, туманности, скопления и т.п., — то наши наблюдения весьма определенно дают нам ответ: «Да». Поэтому последователи Маха вынуждены предполагать, что существует еще какое-то вещество. Но это вещество нужно нам лишь для одной цели: чтобы мы могли предположить, что его нет, и утверждать, что тогда не будет и инерции. Такую точку зрения, которая отрицает логическую воз-

можность существования мира без массы, я называю материальным постулатом относительности инерции».

Уравнениям Эйнштейна возможно было удовлетворить и без предположения о существовании мировой массы. Граничные условия обращения в ноль компонент поля инерции $g_{\mu\nu}$ могут быть обеспечены благодаря введению лямбда-члена. При этом материальный постулат относительности инерции окажется не выполнен, но математический постулат об относительности инерции будет удовлетворен.

Перейдя от сферического мира Эйнштейна к миру эллиптическому (система A), де Ситтер находит, что материя может играть роль абсолютного пространства Ньютона – является выделенной инерциальной системой отсчета: «система A лишь в том случае удовлетворяет математическому постулату об относительности инерции, если он применяется только к трехмерному пространству. Другими словами, если мы представим себе, что трехмерное пространство (x_1, x_2, x_3) с его мировой массой может двигаться в некоем абсолютном пространстве, то мы никогда не сможем обнаружить путем наблюдений его движение: всякое движение материальных тел происходит относительно пространства (x_1, x_2, x_3) с мировой массой, а не относительно нашего абсолютного пространства. Таким образом, мировая материя становится на место абсолютного пространства ньютоновской теории, или так называемой «инерциальной системы». Это не что иное, как материализованная инерциальная система. Отметим, что в системе A такую относительность инерции можно осуществить, лишь приняв время практически абсолютным».

Система B является четырехмерным аналогом системы A , в ней нет универсального времени и все четыре координаты равноправны. Лучи света в ней являются геодезическими, массы может и не быть, но если имеется более чем одна масса, то эти массы не могут покоиться. Система B удовлетворяет математическому постулату относительности инерции. Материальные частицы не могут в этой системе под влиянием только инерции двигаться по прямой линии с постоянной скоростью.

В системе B нет относительности инерции, эта система в целом соответствует ньютоновской теории инерции, пространство является евклидовым, траектории частиц, движущихся по инерции являются прямолинейными в прямоугольных декартовых координатах.

Обобщением космологических идей Эйнштейна и де Ситтера послужила работа Фридмана. Он смог получить цилиндрический и сфе-

рический миры с постоянной кривизной как частные случаи общего решения, из которого следовало, в частности, наличие миров, кривизна которых меняется со временем, будучи постоянной относительно трех пространственных координат. Фридман принимает исходные положения Эйнштейна и Ситтера о том, что гравитационные потенциалы удовлетворяют системе уравнений Эйнштейна и о том, что материя находится в несвязанном состоянии и обладает относительным покоем. Фридман добавляет в качестве исходных еще следующие положения: «По выделении из четырех мировых координат трех пространственных (x_1, x_2, x_3) мы будем иметь пространство постоянной кривизны, могущей, однако, меняться с течением четвертой временной координаты x_4 . . . В выражении для интервала g_{14}, g_{24}, g_{34} обращаются в нуль при соответствующем выборе временной координаты, или, кратко выражаясь, время ортогонально пространству».

Данные предположения позволили Фридману получить кубическое уравнение, связывающее распределение масс, время и значения радиуса кривизны. Он получил три нестационарных решения, описывающих эволюцию Вселенной. То, какой именно сценарий реализуется зависело от общей массы Вселенной. Имеющиеся на тот момент данные не позволяли однозначно выбрать сценарий развития мира и поставили новые вопросы. Один из этих вопросов касался возможности определения кривизны пространства путем прямых наблюдений, другой – определение массы Вселенной. Поскольку наиболее распространенной частицей является нейтрино, то проблема определения общей массы Вселенной зависела от наличия у нейтрино массы.

Недостатками всех космологических моделей является отсутствие у них предсказательной силы, они не объясняют сегодняшнего состояния вселенной. Основными проблемами являются объяснение крупномасштабной структуры Вселенной и объяснения почему скорость расширения Вселенной очень близка к критической.

Применение ОТО в космологии оказалось очень плодотворным, космология не осталась в долгу перед теоретической физикой. Тщательное исследование красного смещения показало, что Вселенная расширяется с ускорением, то есть должен быть источник антитяготения, который получил название темной материи. Метод гравитационного линзирования дал одно из экспериментальных доказательств существования темной энергии – скрытая масса галактик в несколько раз превосходила массу видимого вещества. Таким образом, космология

продемонстрировала, что физика в течение 300 лет изучала только 5% того что есть во Вселенной.

Техническое развитие астрофизических исследований

Благодаря ОТО космология получила и мощный стимул для технического развития. Если вплоть до 1970-х небо наблюдалось только с помощью оптических телескопов, то предсказания ОТО рентгеновских вспышек, и реликтового излучения потребовало применения радиотелескопов. Расширение диапазона астрономических наблюдений привело к открытию пульсаров, белых и коричневых карликов, черных дыр, открытию планетных систем у далеких звезд. Была открыта неоднородность реликтового излучения, давшая новый толчок развитию Инфляционной модели и теоретической разработке модели множественных вселенных, проводимой А. Линде.

Предсказанное ОТО искривление луча света в поле тяготения стало теоретической основой метода гравитационного линзирования, позволяющего дать точные оценки масс звездных скоплений. Точность наблюдений в оптическом диапазоне была значительно повышена. Большую роль в астрономических наблюдениях играют спутниковые телескопы, снабдившие информацией о ранних этапах развития Вселенной, что позволило более точно определить ее возраст. В числе фундаментальных открытий, сделанных в оптическом диапазоне следует упомянуть изменение постоянной тонкой структуры, открытое Веббом.

На пути великого объединения

Поиск теории великого объединения является центральной проблемой современной теоретической физики. С методологической точки зрения эта тенденция представляет собой реализацию принципа редукционизма: стремление описать все многообразие явлений исходя из немногих оснований. Методология редукционизма возникла одновременно с появлением философии. Целью первых философов: Фалеса, Анаксимандра, Анаксимена был поиск первоначала, породившего весь мир. Традиция редукционизма была поддержана Пифагором, заложившим основу математического естествознания и считавшим, что «все есть число». Эта традиция в эпоху Возрождения была подхвачена Галилеем, считавшим, что книга природы написана на языке математики.

Наука прошла долгий путь в поисках единой теории. Открытие Эрстеда указало на единую природу электричества и магнетизма. Фарадей и Максвелл установили электромагнитную природу видимого света. Квантовая механика совместила корпускулярное и волновое описания микрообъектов. Опыты Кауфмана показали, что инерция тел имеет электромагнитную природу, а Лоренц и Пуанкаре нашли, что как механические, так и электромагнитные силы ведут себя одинаково при преобразованиях Лоренца. Наконец, в рамках квантовых теорий была построена теория, объединяющая электрослабое и сильное взаимодействия.

Современная проблема объединения двух столпов современной физики – ОТО и квантовых теорий состоит в неполном согласовании их философских предпосылок. Ученые при разработке новой теории стремятся достигнуть максимального согласия с опытом. Философские основания различных теорий как правило не принимаются во внимание. Поясним, что в данном случае имеется в виду под философскими основаниями научных теорий.

В основе любой теории лежат неопределяемые понятия и постулаты. Некоторые из исходных понятий являются настолько общезначимыми, что представляют собой наиболее общие неопределяемые понятия, т.е. философские категории. Примерами философских категорий являются пространство, время, причинность, материя. Характеристическим признаком философской категории является отсутствие определения. Тем не менее, различные научные теории, как правило, придают базовым понятиям различное содержание.

Несовместимость философских оснований квантовых теорий и ОТО является источником проблем, затрудняющих поиск теории великого объединения. В наш век узкой специализации может показаться странным, что между наукой и философией нет четкой границы, тем не менее это так. Многие известные философы были естествоиспытателями, многие ученые философствовали. Окончательный разрыв науки и философии произошел в конце XIX – начале XX века в ходе реализации позитивистской программы изгнания философии из науки. В 1960-е было осознано, что философия всегда присутствует в науке, но за это время традиция философской культуры в среде ученых была утрачена. В настоящее время философствование в среде ученых является дурным тоном, но тот кто сознательно не придерживается критического рефлексивного подхода, неосознанно занимают некритическую позицию

полного доверия научной теории, которую философы называют наивным реализмом.

Категория	Интерпретация с точки зрения квантовых теорий	ОТО
Пространство	Первоначально понималось в Ньютоновском смысле как 3-мерное пустоеместилище объектов и процессов. Позже при разработке теории поля были использованы релятивистские идеи, введено понятие планковской длины и обсуждался вопрос о дискретности пространства.	Пространство и время равноправны и объединены в 4-мерное гладкое многообразие, кривизна которого зависит от распределения масс. Основную проблему ОТО составляет наличие сингулярностей.
Причинность	Теория носит статистический характер. Принцип неопределенности Гейзенберга заключает о принципиальной невозможности получения сколь угодно точной информации о всех характеристиках системы одновременно. Влияние наблюдателя на систему приводит к неконтролируемому изменению параметров системы.	Детерминистическая теория. Причинность рассматривается не изолировано, а определяется через пространственно-временные характеристики (световой конус) и постоянную – скорость света.
Материя	Характеристики массивных частиц рассматриваются независимо от пространственно-временных параметров, в описании параметров частиц доминируют идеи симметрии. Частицы превращаются друг в друга благодаря нарушению симметрии. Масса элементарных частиц определяется поглощением кванта скалярного поля – бозона Хиггса.	Тяжелая масса сведена к инертной путем установления эквивалентности поля тяжести ускоренной системе отсчета. Масса определяет геометрию пространства-времени, кинематика тел определяется кривизной пространства.

Взаимопроникновение идей квантового подхода и относительности происходит достаточно давно. Построение квантовой теории поля происходило с учетом принципа относительности и уже первая из таких теорий – квантовая электродинамика является релятивистской. Применение квантовых идей в ОТО необходимо в связи с проблемой сингулярностей, поскольку значения плотности и гравитационного потенциала вблизи особой точки принимают расходящиеся значения. Классическая ОТО создавалась в предположении слабых гравитационных полей и непосредственно экстраполировать ее в область, ограниченную гравитационным радиусом нельзя. Важность проблемы

сингулярностей обусловлена тем, что Вселенная имеет сингулярную точку в качестве начального условия. Именно с условиями, существовавшими вблизи сингулярности связывается возможность объединения четырех фундаментальных взаимодействий, три из которых удалось объединить в рамках квантовых теорий и четвертое – гравитационное, описываемое ОТО.

Основной проблемой построения теории великого объединения является невозможность проквантовать гравитацию, что вызвано несовместимостью понятий причинности в квантовой механики и пониманием пространства-времени в ОТО. При переходе к квантовым масштабам, согласно принципу неопределенности возникает неопределенность значений энергии-импульса, что согласно теории относительности сопровождается искривлением пространства. Таким образом, на микроуровне структура пространства-времени оказывается подвержена флуктуациям, что не согласуется с гладкостью геометрии пространства на макромасштабах. «Стандартное разрешение парадоксов Зенона основывается больше на математическом понятии континуума, чем на природе самого пространства-времени. Утверждение о том, что пространство-время образует континуум, подразумевает сохранение его непрерывной природы независимо от того, с каким «увеличением» мы его рассматриваем. Но ведь отнюдь не очевидно, что непрерывное описание соответствует действительности в достаточно малых масштабах, где существенную роль играют квантовые эффекты. Возьмем, например, масштабы порядка 10^{-13} см (примерный радиус элементарной частицы). При любой попытке определить положение частицы с такой степенью точности становится вероятным (ввиду принципа неопределенности) возникновение чрезвычайно большого импульса. Тогда должны рождаться новые частицы, и некоторые из них могут оказаться неотличимыми от первоначальной, так что понятие «положения» первоначальной частицы становится неопределенным. Но еще более угрожающая картина вырисовывается, когда мы осмеливаемся перейти к явлениям, протекающим в масштабах порядка 10^{-33} см. Здесь квантовые флуктуации кривизны пространства-времени становятся достаточно сильными, чтобы изменить топологию, и пространство-время должно оказаться каким-то беспорядочным наложением разнообразных топологий, а это уж никак не похоже на гладкое многообразие».

Гравитация отлична от других полей «потому что гравитация формирует арену, на которой сама действует, в противоположность другим полям, которые действуют в заданном пространстве-времени».

Предпринималось много попыток построения теорий объединения, в которых предлагаются различные подходы к решению данной проблемы. Так в теории квантовой гравитации предпринимаются попытки запретить существование голой сингулярности, а за пределами горизонта событий предпринимается склейка многообразий.

Применение новых методов ведет к тому, что пространство перестает рассматриваться как отдельная сущность и становится частью более общего понятия. Так в теории квантовой гравитации использование теории твисторов позволяет описать связь между семействами частиц и античастиц и пространственно-временной структурой. Световые лучи рассматриваются как точки в твисторном пространстве, а само пространство-время является вторичным понятием, частью более фундаментального понятия твисторного пространства. Применение новых математических методов в квантовой теории гравитации ведет к тому, что пространство перестает рассматриваться как отдельная сущность и становится частью более общего понятия.

Другой известный подход к великому объединению – теория струн использует понятие пространства как самостоятельное и фундаментальное, описывая посредством его искривления все виды фундаментальных взаимодействий. Изменение понимания пространства здесь касается в основном размерности и топологических свойств (многообразия Калаби – Яу). Кроме того, теория струн ограничивает снизу размер области сингулярности порядка фундаментальной длины, что позволяет получить конечные значения плотности и энергии вблизи сингулярности. Решение проблемы объединения в рамках теории струн нельзя признать достигнутым, поскольку самая актуальная проблема теории струн – проблема выбора ландшафта связана именно с пониманием философской категории пространства.

Теория струн ограничивает снизу размер области сингулярности. Сингулярность рассматривается не как точечная, а как имеющая порядок фундаментальной длины. Данный подход позволяет получить конечные значения плотности и энергии вблизи сингулярности. История поиска теории великого объединения естественным образом может быть подразделена на следующие этапы:

1. Динамика как геометрия: идеи Калуцы и Клейна.
2. Открытие сильного и слабого взаимодействия, построение теории электрослабого взаимодействия.
3. Разработка теории суперструн.
4. Теория квантовой гравитации.

Возможные прогнозы:

ОТО выступает основа объединения, ее понятия гораздо более интегрированы в единую понятийную конструкцию, чем в квантовой механике, где они понимаются независимо. Понятие пространства в ОТО тесно связано с понятиями массы, причинности, принципом относительности. Весьма вероятно, что с развитием идей объединения пространство потеряет статус самостоятельной сущности и будет интегрировано с понятием поля.

Введение фундаментальной длины математически позволяет избежать расхождений, но проблема философской несогласованности оснований теории останется нерешенной. Фундаментальная длина предполагает квантование пространства, то есть его дискретность на масштабах порядка фундаментальной длины, что должно быть согласовано с гладкостью пространства на макроуровне. Для такого согласования недостаточно простой ссылки на разницу масштабов, как это делается для объяснения компактификации скрытых размерностей в теории струн. Проблема философской несогласованности оснований теории останется нерешенной. Открытым остается вопрос согласованности в понимании причинности. Квантовомеханический принцип неопределенности и детерминистическая по сути ОТО должны быть совместимы на субквантовом уровне.

Квантование пространства, то есть его дискретность на масштабах порядка фундаментальной длины, должно быть согласовано с гладкостью пространства на макроуровне, что не может быть достигнуто простой ссылкой на разницу масштабов, как это делается для объяснения компактификации скрытых размерностей в теории струн. Предположение о дискретности пространства затруднит описание движения и возродит двухсполовинной тысячелетние парадоксы Зенона. Постулат существования минимальной длины должен быть совместим также с требованием Лоренц-инвариантности и принципом относительности.

Кажущийся наиболее очевидным путь рассматривать движущийся объект как перемещающее возбуждения соответствующего поля, полагая само поле покоящемся в пространстве противоречит принципу относительности поскольку тем самым вводится выделенная система отсчета.

Глава III

СОВРЕМЕННАЯ МЕТАФИЗИКА, УНИФИКАЦИЯ И ПРОСТРАНСТВО

§ 1. Стремление к унификации – катализатор современной метафизики

Понимание метафизики, как и, в общем случае, философии, разнообразно и многообразно. Но если следовать тому пониманию метафизики, истоки которого прослеживаются в античной натурфилософии (на наш взгляд, эти термины носят почти синонимический характер), то это прежде всего полученные путем некоего, как говорят некоторые историки философии, созерцания (наблюдения над природой самой-по-себе-как-я-это-вижу-и-понимаю-с-точки-зрения-того-что-я-знаю-и-как-я-мыслю), а также методом рации (размышления над результатами созерцания с позиций того, что я знаю и как это понимаю), и на этой основе систематизации представлений о фундаменте мироздания, об основах бытия. Ясно, что эти представления не имеют, и порой не могут (в силу тех или иных причин) иметь под собой прямых эмпирических оснований. Однако если метафизические представления логически непротиворечивы, а эмпирические выводы (предсказания) из таких представлений, по меньшей мере, возможно, могут соответствовать (порой неожиданно, пример: история открытия реликтового фона) им, то эти метафизические представления (скажем применительно к данной ситуации так – гипотезы) заслуживают определенного внимания тех ученых, которые пытаются решать фундаментальные проблемы, в число которых входит, в частности, проблема пространства. Но только в том случае, применительно к современной познавательной ситуации, если мы под метафизикой будем понимать попытку познания основ бытия (в нашем случае – попытку понимания структуры пространства) при отсутствии какой-либо непосредственной, или даже опосредованной эмпирической базы. В этом отношении эволюция представлений и гипотез о структуре, природе и сущности пространства имеет

весьма показательный характер: изначально и до сих пор эти представления и гипотезы имеют метафизический характер как в смысле оснований, так и в смысле обоснований, что вызвано, на наш взгляд, господствующей на всех этапах развития науки тенденцией к унификации научного знания. В связи с этим имеет смысл рассмотреть эту тенденцию.

Для любой формы человеческого познания тенденция к унификации (приведение к единообразию, к единой форме или системе) знаний является универсальной и характерной для всех этапов развития человеческой цивилизации. В научном познании с методологической точки зрения эта тенденция представляет собой вариант реализации принципа холизма: стремление описать все многообразие явлений исходя из немногих оснований. Методология холизма возникла одновременно с появлением философии, точнее – натурфилософии, и изначально имела метафизический характер.

Целью первых философов – Фалеса, Анаксимандра, Анаксимена, был поиск первоначал, породивших весь мир. Этот поиск был обусловлен осознанием единства природы, естественным образом вытекающим из наблюдений за ее явлениями. Было замечено, что все находится во взаимосвязи, все взаимодействует со всем. Следовательно, мир, в котором мы живем, обладает каким-то общим началом. В крайнем случае – ограниченным числом начал. Естественно было предположить, что существует и ограниченное число фундаментальных законов, которым подчиняется этот мир. По мнению Пифагора, числа управляют миром, и законы математики – это законы мира. Для Демокрита мир – система хаотическидвигающихся в пустоте атомов, комбинации которых составляют тела. Разнообразие тел обусловлено разнообразием комбинаций атомов. В период протонаучного периода развития познания мира такого рода представления носили метафизический характер и этим демонстрировали унифицированный подход к описанию природы.

Тенденция к унификации была продолжена и в период становления собственно научного познания, что особенно явно проявилось в физике. Галилей, утверждавший, что книга природы написана языком математики, своими астрономическими наблюдениями показал, что небесные тела (Луна и известные тогда планеты) подобны Земле. Ньютон окончательно объединил земное и небесное, разработав классические динамику и теорию гравитации. Он доказал, что все тела в макром мире (на Земле и в космосе) подчиняются ограниченному набору законов: трем законам динамики и закону всемирного тяготения. Это явилось кульминацией первой научной революции.

Исследования оптических, электрических и магнитных явлений заложили предпосылки второй научной революции. Открытие Эрстеда (1820 г.) указало на единую природу электричества и магнетизма. В 1822 г. Фарадей поставил перед собой задачу превратить магнетизм в электричество, и в итоге в 1831 г. экспериментально открыл явление электромагнитной индукции и дал ему математическое описание, тем самым унифицировав электричество и магнетизм. При этом Фарадей был буквально вынужден результатами своих эмпирических исследований обратиться к проблеме строения материи. Начал он с традиционной критики атомизма. Если атомы и пространство, рассуждал Фарадей, представляют собой два различных структурных компонента мира, то следует признать непрерывность только пространства, так как атомы представляют собой различные и отделенные друг от друга объекты. Пространство, таким образом, должно пронизывать все тела, отделяя атомы друг от друга. Возьмем какой-нибудь изолятор, например, сургуч. Если бы пространство было проводником, то изолятор должен был бы проводить ток, потому что пространство служило бы как бы металлической сеткой. Следовательно, пространство является изолятором. Но возьмем какой-нибудь проводник. И здесь все атомы окружены пространством, но если пространство – изолятор, то ток не может проходить от атома к атому. Получается, что пространство должно быть проводником. Мы имеем, таким образом, теорию, противоречащую самой себе, и такой теории не место в системе физического знания.

Но если атомистическая теория не выдерживает критики, то ее необходимо заменить. И Фарадей выдвигает и обосновывает гипотезу, которая в дальнейшем привела к понятию поля. «Мы знаем силы и наблюдаем их присутствие в каждом явлении, но отвлеченной материи мы не встречаем ни в одном из них, – утверждал он. – Почему же мы должны признавать существование некоей вещи, о которой мы не можем составить себе никакого представления, вещи, представление о которой вовсе не является необходимостью для нашего мышления?». Таким образом, материю можно представить как систему сил, исходящих из центров сил, представляющих собой физические материальные точки. Такая материя существует повсюду, нет такой области пространства, где ее не было бы.

«Такой взгляд на строение материи, – продолжает Фарадей, – с необходимостью приводит, очевидно, к заключению, что материя заполняет собой все пространство или по крайней мере все пространство, в которой действуют гравитационные силы, потому что гравита-

ция – это свойство материи, зависящее от определенной силы, а эта сила как раз и представляет собой материю. При таком понимании материи она не только взаимопроницаема, но и каждый ее атом простирается, так сказать, через всю солнечную систему, сохраняя, однако, свой собственный центр силы». Такой вариант объяснения структуры материи, как сделал вывод Фарадей, позволяет обойтись без идеи эфира, который, как тогда считалось большинством физиков, был не только переносчиком световых колебаний, но и сущностью материи. По мнению Фарадея, колебания света могут быть представлены как дрожание силовых линий.

Но не видим ли мы здесь объяснение одного неизвестного через другое неизвестное? Да, нам непонятная сущность эфира, обладающего противоречивыми свойствами, но не понятна и сущность силы, а сами силовые линии – материальны ли они? Существуют ли некие реальные объекты, которые мы можем определить как силовые линии, как центры сил? Отсутствие ответов на эти вопросы вернуло исследователей на казалось бы проторенные, а потому понятные хотя бы на интуитивном уровне тропы классического механицизма или эфира, в зависимости от их пристрастий и склонностей, что мы видим на первых этапах развития электродинамики.

Первые этапы развития электродинамики в ее объяснительном варианте, казалось бы, подтверждали существование эфира. Свет, электричество и магнетизм, ранее представлявшиеся совершенно независимыми друг от друга, объединились в одно – электромагнетизм. Это было второй после Ньютона великой унификацией, поставившей перед физиками массу проблем, и прежде всего – проблему эфира. При этом изначально, следуя классической традиции, Максвелл пытался объединить их механическим образом, создав механическую модель электромагнитных явлений. «В различных местах этого трактата, – пишет Максвелл, приступая к изложению электромагнитной теории света, – делалась попытка объяснения электромагнитных явлений при помощи механического действия, передаваемого от одного тела к другому при посредстве среды, занимающей пространство между этими телами. Волновая теория света также допускает существование какой-то среды. Мы должны теперь показать, что свойства электромагнитной среды идентичны со свойствами светоносной среды... Мы можем получить численное значение некоторых свойств среды, таких, как скорость, с которой возмущение распространяется через нее, которая может быть вычислена из электромагнитных опытов, а также наблюдается

непосредственно в случае света. Если бы было найдено, что скорость распространения электромагнитных возмущений такова же, как и скорость света, не только в воздухе, но и в других прозрачных средах, мы получили бы серьезное основание для того, чтобы считать свет электромагнитным явлением, и тогда сочетание оптической и электрической очевидности даст такое же доказательство реальности среды, какое мы получаем в случае других форм материи на основании совокупности свидетельств наших органов чувств».

Как мы уже писали в гл. 1 (но считаем необходимым повторить в связи с изменением контекста исследования), в конечном итоге выяснилось, что уравнения Максвелла оказались неинвариантными относительно преобразований Галилея и неприменимыми к телам, движущимся по отношению к эфиру. Все более очевидным казалось, что реально поле, но не эфир. Тем более что экспериментально подтвержденная Герцем электромагнитная теория Максвелла привела в дальнейшем, в контексте идеи эфира, к опытам Физо и Майкельсона, результаты которых полностью противоречили этой идее. Но само поле оставалось «вещью в себе». Герц пытался спасти идею эфира, приняв гипотезу Стокса о полном увлечении эфира. Он нашел систему уравнений, инвариантных по отношению к галилеевским преобразованиям и превращающимся в частном случае покоящегося тела в уравнения Максвелла, но полученные им уравнения противоречили опыту Физо.

Лоренц пытался разрешить эти проблемы, не используя механического истолкования — он считал, что в последнем случае (и это действительно так) есть противоречие с третьим законом Ньютона — законом действия и противодействия. Им была выдвинута идея ввести в уравнения Максвелла дискретную структуру электричества. Лоренц принял существование эфира как единого, геометрически неизменного диэлектрика, лишённого внутренних движений, не подверженного внешним механическим воздействиям. Вещество же, по его мнению, состоит исключительно из элементарных частиц электричества. По этой гипотезе каждый движущийся электрон создает вокруг себя электромагнитное поле, а при изменении своего движения он излучает электромагнитные волны. «Таким образом, уравнения Максвелла являются усредненными статистическими уравнениями электромагнетизма, вытекающими из лоренцевской тонкой структуры». Исходя из таких предпосылок, Лоренц получил пять основных уравнений, из которых, по его мнению, вытекали все законы электромагнетизма, при этом частично не противоречащие классическим представлениям. Хо-

тя эта теория и была воспринята с известной долей скептицизма, тем не менее А.Пуанкаре отмечал, что «эта теория..., бесспорно, лучше всех истолковывает известные нам факты, освещает больше реальных отношений, чем любая другая, и свойственные ей черты войдут в наибольшем числе в будущее окончательное построение». Теория была очень привлекательной, потому что она очень просто истолковывала ряд явлений, которые не могли объяснить в достаточной мере удовлетворительно прежние теории, в том числе и теория Максвелла в ее первоначальной форме, к тому же описывала природу физической реальности явно унифицированным образом. То числу таких явлений относились абберация света, частичное увлечение световых волн, магнитная поляризация, явление Зеемана и др.

Но существовали и проблемы, которые не решались в рамках лоренцевской теории. Дело в том, что, по Лоренцу, явления, происходящие в некоторой системе, казалось, должны были зависеть от абсолютной скорости движения этой системы, что противоречило идее относительности пространства, идущей еще от классической механики и казавшейся достаточно очевидной. Действительно, если два заряженных проводника движутся относительно друг друга с одной и той же скоростью, то они находятся в относительном покое, а электромагнитное взаимодействие между ними таково, что они должны притягиваться друг к другу. Измерив это взаимодействие, говорили противники Лоренца, мы определим абсолютную скорость проводников. Но сторонники лоренцевской теории утверждали, что здесь будет измерена скорость их относительно эфира, и принцип относительности, таким образом, здесь не нарушается.

Лоренц дал более удовлетворительный ответ, известный как преобразования, названные его именем. В то время как при преобразованиях Галилея время остается неизменным для двух систем, движущихся равномерно и прямолинейно одна относительно другой, при лоренцевских преобразованиях при переходе от одной системы к другой время изменяется. Поэтому Лоренц ввел понятие местного времени, не приписывая, правда, ему никакого физического смысла, но поиском которого некоторые исследователи пытаются заниматься и сейчас. Уравнения Максвелла оставались инвариантными относительно преобразований Лоренца, но неинвариантными оказывались уравнения классической механики. Так что в конечном итоге расхождение между классической механикой и уравнениями Максвелла не было устранено и объединения классической механики и электродинамики не получилось.

Оставалась, таким образом, нерешенной проблема согласования электродинамики, классической механики и результатов опытов Физо и Майкельсона – Морли. И хотя при всем том, что электродинамика, как и классическая механика, удовлетворительно описывала реальность в контексте исследуемого ею предмета, стремление к унификации физики требовало в обязательном порядке согласования двух этих отраслей физического знания. Такое согласование стало возможным при отказе от метафизической по сути идеи эфира, но при полной потере ясности в понимании природы и структуры материи, пространства и времени. Оно было осуществлено с созданием специальной теории относительности, решившей эту проблему, объединившей механику и электродинамику, но обострившую проблему структуры материи. Появление же квантовой механики вновь выдвинуло на передний план проблему унификации. В связи с этим рассмотрим тенденцию к унификации и все большим использованием ей метафизических подходов и представлений в контексте развития методологии неклассической физики, поскольку именно здесь проявились и сформировались новые методы и проблемы данной тенденции, усилились ее методологическая значимость и метафизическая нагруженность.

Классический период развития науки закончился революцией не только в конкретно-научном познании, но и началом радикального переосмысления научной методологии, которое привело, в итоге, к новому пониманию (в смысле расширения прежде всего) унификации, а в связке с ней и метафизики в новом (причем неявном) ее использовании, которое окончательно определилось лишь в конце XX столетия. Это переосмысление связано прежде всего с развитием новой методологии физических исследований, вызванной потерей наглядности и проблематикой соотношения теории, эксперимента и реальности, что привело к попыткам унификации классических и неклассических представлений, в которых опять же «выглядывают», (вольнo или невольнo), «уши» метафизики, несмотря на все попытки позитивистов элиминировать ее из науки,

Наибольший вклад здесь был внесен выдающимися физиками конца XIX – первой половины XX вв. – А. Эйнштейном и Н Бором, которые не только разрабатывали фундаментальные неклассические теории, но и осмысливали методологическую проблематику научного познания, сформулировали ряд новых принципов, имеющих характер методологических принципов как физического, так и общенаучного плана (принципы относительности, дополнительности, простоты, или

красоты и др.) и придали неклассический вид таким традиционным принципам, как принципы наглядности, причинности и пр. Как в новых принципах, так и в переинтерпретации старых и проявилась в новом качестве тенденция к унификации, обусловив, в конечном итоге, использование метафизических подходов, наиболее явно проявившихся в суперструнных подходах и в гипотезах квантовой гравитации.

Обсуждение проблемы реальности и возможности познания мира вне наших ощущений началось с первых шагов развития квантовой механики и теории относительности. Сторонники классических представлений пытались согласовать и унифицировать новые теории со старой методологией и методологическими принципами познания. Так, Г. Лоренц категорически утверждал, что «представление, которое я хочу составить себе о явлениях, должно быть абсолютно четким и определенным, и мне кажется, что мы не можем составить себе такого представления иначе, как в пространственно-временной системе. Для меня электрон – это частица, которая в данный момент находится в определенной точке пространства. И если этот электрон встречается с атомом, проникает в него и после многих перипетий его покидает, я создаю себе теорию, в которой этот электрон сохраняет свою индивидуальность, т.е. я представляю себе некоторую линию, по которой этот электрон прошел через атом». Позднее А. Эйнштейн, фактически поддерживая Лоренца, развернуто изложил свою точку зрения, и трудно удержаться от искушения привести здесь длинную цитату, наиболее полно, пожалуй, выражающую его взгляд на эту важнейшую методологическую проблему неклассической физики и унификацию классических и неклассических представлений, которого он придерживался до конца жизни. Итак, Эйнштейн в своей статье, написанной в 1949 г., категорически утверждает: «Вместе с тем у читателя не должно быть никаких сомнений относительно того, что я полностью признаю тот весьма значительный прогресс, который был достигнут теоретической физикой с помощью статистической квантовой теории. В области *механических* процессов, т.е. всюду, где взаимодействие различных структур и их частей можно с достаточной точностью рассматривать, постулируя существование потенциальной энергии взаимодействия между материальными точками, статистическая квантовая теория и поныне представляет собой замкнутую систему, правильно описывающую эмпирические соотношения между наблюдаемыми величинами и позволяющую теоретически предсказывать их значения. До сих пор эта теория является единственной теорией, логически удовлетво-

рительно объясняющей дуальные (корпускулярные и волновые) свойства материи. Те (проверяемые) соотношения, которые содержатся в этой теории, являются *полными* в естественных пределах, определяемых соотношением неопределенностей. Формальные соотношения, содержащиеся в статистической квантовой теории, т.е. весь ее математический формализм, по-видимому, должны будут в будущем войти в форме логических выводов в любую разумную теорию. Принципиально неудовлетворительным в этой теории, на мой взгляд, является ее отношение к тому, что я считаю высшей целью всей физики: полному описанию реального состояния произвольной системы (существующего, по предположению, независимо от акта наблюдения или существования наблюдателя). Если бы это рассуждение услышал склонный к позитивизму современный физик, оно вызвало бы у него улыбку сожаления. Он бы сказал себе: “Здесь мы имеем дело с формулировкой в чистом виде некоего метафизического предрассудка, лишенного всякого содержания, преодоление которого было главным философским достижением физиков за последние четверть века. Воспринимал ли кто-нибудь “реальное состояние какой-нибудь физической системы”? Может ли вообще кто-нибудь утверждать, что он знает, что следует понимать под “реальным состоянием физической системы”? Как может разумный человек в наше время еще верить в то, что ему удастся опровергнуть наиболее существенную часть нашего знания с помощью такого “бесплотного духа”? Терпение! Я отнюдь не считаю, что приведенная выше лаконическая формулировка может кого-нибудь убедить. Она должна была лишь указать ту точку зрения, вокруг которой будут свободно группироваться излагаемые ниже элементарные соображения».

Каким же видел путь к унификации сам Эйнштейн? «... Высшим долгом физиков, – утверждал он, – является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведет не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция. При такой неопределенности методики можно думать, что существует произвольное число равноценных систем теоретической физики; в принципе это мнение безусловно верно. Но история показала, что из всех мыслимых построений в данный момент только одно оказывается преобладающим. Никто... не станет отрицать, что теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, хотя никакой логический путь не ведет от наблюдений к основным принци-

пам теории. В этом суть того, что Лейбниц удачно назвал “предустановленной гармонией”».

В другом месте Эйнштейн писал, что опыт и мышление суть две неделимые составляющие человеческого мышления. Опыт – начало и конец всех наших знаний о действительности, дедукция – путь разума в этом интервале познания. В то же время выведение понятий и принципов из отдельных опытов обречено на неудачу: необходим аксиоматический метод, который дает возможность менять, варьировать основы теории как некие «свободные творения человеческого ума». Этот метод позволяет создавать теории, относящиеся к одной и той же области реальности (таковы, например, механика Ньютона и механика релятивистская), но являющиеся совершенно разными. Отсюда Эйнштейн считает в известном смысле оправданной «веру древних в то, что чистое мышление в состоянии постигнуть реальность». Обязательным и необходимым методологическим принципом для унификации, по мнению Эйнштейна, является принцип экономии мышления, предполагающий, требующий сведения всех понятий и соотношений к возможно меньшему числу логически независимых друг от друга основных аксиом и понятий.

Итак, можно, видимо, сделать вывод, что Эйнштейн, с одной стороны, продолжил методологическую линию А. Пуанкаре и Э. Маха, во всяком случае в той ее части, которая касается дедукции, экономии мышления и роли опыта в познании и, как следствие, унификации, усиливающей роль метафизики, но, с другой стороны, критически перерабатывая, переосмысливая эту методологию и отрицая позитивистские моменты, ввел явным образом в методологическую систему новые методы и методологические принципы, такие, например, как аксиоматический, гипотетико-дедуктивный, принцип соответствия и др. Кроме того, он сумел гармонично сочетать общефизическую методологию с методологией конкретно-научной и методологией уровня теории, где методологическими принципами выступают сами принципы теории, законы, установленные ею, и даже понятийный аппарат теории. Тем самым Эйнштейн не только продолжил тенденции классической физики к унификации, идущие от Аристотеля, вычленив из них то, что оказалось пригодным для новой физики, но и разработал основы новой унификации, полностью соответствующей этой новой физике. Кроме того, ряд его методологических положений и идей значительно опередили развитие методологии начала XX в. Речь здесь идет, в частности, о взглядах Эйнштейна на научную картину мира, на аль-

тернативность теорий (эти идеи предвосхитили анархический метод П. Фейерабенда) и др.

Однако наиболее радикальный, революционный вклад в развитие новой методологической системы для новой физики, и как следствие, в новое понимание проблематики унификации и переосмысление понимания и роли в научном познании собственно метафизики, был внесен в процессе становления квантовой механики. Именно она разрушила старые представления о материи и движении, взаимодействии, причинности и закономерности и создала новые. Если в основе классической физики лежат корпускулярные представления, в основе электродинамики и теорий относительности – волновые, полевые, то в основе квантовой механики – корпускулярно-волновые. Пришлось отказаться от лапласовского детерминизма и лапласовского методологического идеала научного познания, от привычного понимания взаимодействия. Мир предстал как квантово-полевая система, в которой объективны не только необходимые, но и «случайные» события. Ясно, что такие радикальные изменения оснований теоретических не могли не привести одновременно к не менее радикальному изменению оснований методологических, всей методологической системы и в итоге к появлению новых проблем и методов унификации.

Действительно, в ходе развития новой методологической системы, связанной с квантовой механикой, выявилась необходимость включения в нее также той системы, которая была сформирована в процессе развития теорий относительности. Но на первых этапах две эти системы развивались в известном смысле независимо. Пересечение их произошло при становлении релятивистской квантовой механики, квантовой электродинамики и космологии. В результате была создана методологическая система, господствующая в современной физике до сих пор. Но вернемся к методологическим основаниям квантовой механики.

Как известно, квантовая механика возникла в связи с невозможностью в рамках классических представлений объяснить экспериментально наблюдаемое распределение энергии в непрерывном спектре излучения абсолютно черного тела. Для объяснения такой ситуации и ее описания физики вынуждены были ввести понятие элементарных частей энергии – квантов, которое позволяло описывать взаимодействие между веществом и излучением. Решающая роль в развитии этой идеи принадлежит снова Эйнштейну: в 1905 г. в статье «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света» он высказал предположение, которое по своей значимости пре-

восходит идеи, сформулированные в известной работе М. Планка 1900 г.

В статье «О поправке к спектральному уравнению Вина» Планк в отличие от предшественников «строил» формулу излучения не из теории Максвелла, что никак не удавалось сделать, а на основе анализа опытных данных, «подгоняя» под них формулу таким образом, чтобы она описывала как коротковолновое излучение (формула Вина), так и длинноволновое (формула Рэлея). Планку удалось получить такую эмпирическую формулу, и вскоре он попытался дать ей теоретическое истолкование в статье «Теория закона распределения энергии нормального спектра». В этой в целом удачной формуле были две постоянные, первая из которых не вызывала никаких трудностей. Относительно же второй, которую Планк назвал элементарным квантом действия, ученый писал, что это «либо фиктивная величина, и тогда весь вывод закона излучения был в принципе ложным и представлял собой всего лишь пустую игру в формулы, лишенную смысла, либо же вывод закона излучения опирается на некую физическую реальность, и тогда квант действия должен приобрести фундаментальное значение в физике и означает собой нечто совершенно новое и неслыханное, что должно произвести переворот в нашем физическом мышлении, основывающемся со времен Лейбница и Ньютона, открывших дифференциальное исчисление, на гипотезе непрерывности всех причинных отношений».

Фактически здесь речь идет о том, чтобы отбросить классическую электродинамику и заменить ее новой теорией. Для спасения уравнений Максвелла (проявление тенденции к унификации) Планк высказал фактически метафизическое предположение, что испускание и поглощение излучения дискретны, а само излучение непрерывно. Эйнштейн же предложил порвать с классической волновой оптикой и признать за квантами энергии особую индивидуальность, не отрицая, однако, что волновая теория света, оперирующая с непрерывными функциями точки, прекрасно «работает» при описании чисто оптических явлений. Но группа явлений, связанных с возникновением и превращением света, лучше объясняется предположением, что энергия света распространяется не непрерывно, как трактовалось волновой теорией и чего придерживался и Планк, а дискретно. Тогда «энергия пучка света, вышедшего из некоторой точки, не распространяется непрерывно во все возрастающем объеме, а складывается из конечного числа локализованных в пространстве неделимых квантов энергии, поглощаемых или возникающих только целиком».

В процессе анализа квантовых явлений Эйнштейн обосновывал тезис, имеющий фундаментальное значение для квантовой механики: «...Нельзя считать несовместимыми обе структуры (волновая и квантовая), которыми одновременно должно обладать излучение в соответствии с формулой Планка». Этим самым он фактически подошел к метафизической по сути идее квантово-волнового дуализма, унифицирующей противоположности в единое целое как некую физическую реальность. Но окончательно этот дуализм стал понятен гораздо позднее, а пока шли поиски вариантов согласования классических представлений об излучении с новыми взглядами на него.

Возможность такого согласования виделась прежде всего в том, что формулы излучения Планка и результаты, полученные Эйнштейном, носили феноменологический характер, были связаны с описанием опыта, обобщением эмпирических данных. Физическое же истолкование формализма представлялось тогда возможным и на базе классической методологии, точнее, на базе сложившихся методологических принципов классической физики. Это видно хотя бы из того, что Эйнштейн постулировал существование световых квантов, проводя аналогию между излучением, описываемым законом Вина, и поведением классического идеального газа, состоящего из материальных частиц. На основе такой аналогии он сделал вывод, что «монохроматическое излучение малой плотности (в пределах области применимости закона излучения Вина) в смысле теории теплоты ведет себя так, как будто оно состоит из независимых друг от друга квантов энергии». Этот вывод – унификация классических представлений с результатами экспериментов, не описываемых в рамках классической физики. Исследования Планка также основывались на классической механике Ньютона и электродинамике Максвелла. Эйнштейн, анализируя выведение закона Планка и сравнивая его со своими результатами, заключил, что «в основе теории Планка лежит следующее утверждение. Энергия элементарного резонатора может принимать только целочисленное значение». Но это противоречит теории Максвелла, и Планк вводит в физику новый гипотетический элемент – гипотезу световых квантов, которая полностью подтверждается опытом.

Однако в 1951 г. Эйнштейн написал: «После 50 лет раздумий я так и не смог приблизиться к ответу на вопрос, что же такое световой квант». Для него квантовая физика все время находилась в кризисе, так как не могла быть согласована, унифицирована с методологическими требованиями классической механики, классической физики в целом,

и прежде всего такими, как принцип полноты описания, принцип простоты, принцип причинности в их классической интерпретации, от которых он не мог отказаться. Первыми это препятствие преодолели основоположники квантовой физики – Н. Бор, В. Гейзенберг и Л. де Бройль, но и те сделали это далеко не в полном объеме, который мог быть сравним с классической методологической системой и с унификацией классических теорий. Наибольшие трудности здесь вызывали проблемы причинности, полноты описания, дополнительности, ибо именно они прежде всего требовали неклассической интерпретации, в то время как методологические взгляды названных ученых формировались классической методологией. Но ведь известно, как трудно, а порой и невозможно согласовать новое со старым, в случае же необходимости – отказаться от того, что составляет сущностную сторону миропонимания, даже если оно явно противоречит реальности! Эйнштейн, например, так и не принял неклассической методологии, особенно в части причинности и полноты описания, хотя сделал решающий вклад в разработку квантовой физики и до конца своей жизни пытался унифицировать гравитацию (в рамках общей теории относительности) с электромагнетизмом.

Наиболее полно содержательная часть новой методологии и, как следствие, новой унификации классики и неклассики в контексте квантовой теории была рассмотрена Бором. В 1928 г. он писал: «Квантовая теория характеризуется признанием принципиальной ограниченности классических физических представлений в применении к атомным явлениям. Создавшаяся таким образом ситуация очень своеобразна, поскольку наша интерпретация эмпирического материала в существенном покоится именно на применении классических понятий». В то же время «каждому атомному процессу свойственна существенная прерывность или, скорее, индивидуальность, совершенно чуждая классической теории и выраженная планковским квантом действия. Этот постулат включает в себе отказ от причинного пространственно-временного описания атомных процессов». По мнению Бора, в рамках классических представлений явление наблюдается без оказания на него какого-либо влияния. «Это ясно проявляется, – пишет он, – например, в теории относительности, оказавшейся столь плодотворной для разъяснения классических теорий». (Заметим, кстати, что именно по этой причине мы не рассматриваем методологическую систему, соответствующую теории относительности: она не меняет принципиальным образом классическую методологию.) Но в квантовой теории ситуация

прямо противоположная, так как всякое наблюдение явлений на атомарном уровне предполагает их взаимодействие со средствами наблюдения, которым нельзя пренебречь.

Как полагает Бор, «понятие наблюдения, вообще говоря, включает в себе некоторый произвол, так как оно зависит от того, какие объекты включаются в систему, подлежащую наблюдению. В конце концов всякое наблюдение может быть, конечно, сведено к нашим ощущениям. Но поскольку при интерпретации наблюдений мы должны всегда использовать теоретические представления, в каждом конкретном случае является вопросом удобства тот пункт, где следует вводить понятие наблюдения вместе с квантовым постулатом с присущей последнему иррациональностью». При такой ситуации понятия пространства и времени теряют свой непосредственный смысл, однозначное описание состояния системы становится невозможным и не может быть даже речи о классической причинности. Тогда в соответствии с квантовой теорией «мы должны считать пространственно-временное представление и требование причинности, соединение которых характеризует классические теории, как дополнительные, но исключающие одна другую черты описания содержания опыта». Следовательно, перед нами встает задача разработки «теории дополненности», об отсутствии противоречий в которой можно судить, только взвешивая возможности определений и наблюдений. Такая теория дополненности, а точнее, принцип дополненности, и позволяет разрешать проблему соотношения пространственно-временного описания и причинности, проблему их унификации, так как они находят взаимно дополняющее выражение. Принцип неопределенностей Гейзенберга подтвердил эту идею, которая стала методологическим принципом новой физики, работающим не только в квантовой механике, но и – при известных обстоятельствах – в теории относительности в применении ее к атомным явлениям.

Другой принцип, который Бор выдвигает и обсуждает в качестве методологического, – принцип соответствия, требующий установления связи между классическими представлениями и неклассическими теориями и рассмотрения последних как рационального объяснения и, фактически, унификации первых. Таким образом, неклассическая теория при предельном переходе становится классической.

В соответствии с методологической системой Бора не имеет смысла говорить одновременно о локализации квантовой частицы и ее волновых свойствах. Эти два аспекта реальности носят взаимодопол-

нительный характер, и никакие эксперименты не помогут обнаружить одновременное проявление указанных двух свойств. Методология Бора позволила существенно развить квантовую теорию, но она не позволила раскрыть физическое содержание такой дополнительной в плане ее онтологического обоснования и поставила проблему так называемых «скрытых параметров», которую, несмотря на все исследования и уверения в ее окончательном решении, до сих пор, на наш взгляд, не удалось решить в действительно полном объеме. И сегодня появляются все новые варианты истолкования этой проблемы. Отсюда квантовую механику можно определить как феноменологическую теорию, определившую новое видение унификации и поставившее перед этой тенденцией новые проблемы.

Такой характер квантовой механики во многом способствовал расцвету позитивизма и его методологической системы, совпадающей в своих основных положениях с идеями Э. Маха и В. Оствальда. Согласно этим идеям, физика должна отказаться от моделей и объяснений, должна отказаться, в конечном итоге, от унификации. Этот тезис относится и к теории относительности, и к квантовой механике как основным физическим теориям. неизбежным следствием такого подхода к физике явилось утверждение, что физика может в лучшем случае описывать наши наблюдения, не предлагая каких-либо объяснений и выявления общих соображений, относящихся, скажем так, к различным уровням материи. В итоге вся физика становится лишь вероятностной теорией.

Большинство классиков квантовой физики отстаивали данное положение дел весьма последовательно. Так, Гейзенберг писал: «Когда нужна лишь относительно малая точность, то, конечно, можно говорить и о положении, и о скорости электрона, причем эта допустимая точность с точки зрения критериев нашей повседневной жизни необычайно высока. Но если мы примем во внимание чрезвычайно малые размеры атомов, то эта точность оказывается небольшой, и присущий этому миру малого закон природы не позволяет нам знать и положение, и скорость частицы с любой точностью, которой нам хотелось бы. Хотя и можно поставить опыты, позволяющие установить с большой точностью место частицы, но, чтобы провести это измерение, мы вынуждены подвергнуть частицу сильному внешнему воздействию, из-за чего возникает большая неопределенность ее скорости. Таким образом, природа избегает точной фиксации этих наших интуитивных определений вследствие неизбежных возмущений, связанных с любым на-

блюдением. Если первоначальной целью каждого научного исследования было описать природу по возможности такой, как она есть сама по себе, т.е. без нашего вмешательства и без нашего наблюдения, то теперь мы понимаем, что эта цель как раз и недостижима. В атомной физике невозможно уйти от изменений, которые всякое наблюдение вызывают в наблюдаемом объекте».

Отрицание возможности познания мира как такового, как некоего едино целого и взаимосвязанного во всех его событиях и без влияния последствий вмешательства в него, неустранимых в теории, имело первостепенное методологическое значение в неклассическом научном познании, и именно здесь скрывается непреодолимое противоречие между классической методологической системой и неклассической, радикально противоречащей тенденции унификации. Пожалуй, большинство современных физиков до сих пор считают, что тезис о познаваемости мира как такового, не зависящего от наблюдателя, не имеет физического смысла. Естественно, такая ситуация не могла устраивать физиков первой половины XX в., и поиски вариантов преодоления противоречий между двумя методологическими системами, противоречий, вызванных подтверждаемым экспериментальными исследованиями содержанием физических теорий, продолжались длительное время, да и сейчас они еще не закончены.

Против отрицания возможности познания мира за пределами наших ощущений, предполагающей, что целью физики является всего лишь рациональное координирование человеческого опыта, выступали и Эйнштейн, и Планк. Так, последний писал (а затем многократно повторял другими словами): «Основой и первым условием любой действительно плодотворной науки является метафизическая гипотеза, недоказуемая, конечно, с чисто логической точки зрения, но которую логика тем не менее никогда не сможет опровергнуть, гипотеза о существовании внешнего мира, мира в себе, совершенно не зависящего от нас, хотя мы и не можем получить о нем непосредственного знания, не прибегая к нашим органам чувств. Это похоже на то, как если бы мы могли наблюдать некий предмет только через очки, цвет которых у каждого наблюдателя был бы несколько иным. Конечно, нам не пришлось бы в голову объяснять устройством наших очков все свойства воспринимаемого предмета, хотя при составлении суждения об этом предмете мы и заботились бы о том, чтобы установить, до какой степени тот цвет, в каком он нам представляется, зависит от наших очков. Точно так же научная мысль стремится прежде всего к тому, чтобы

было осознано и установлено различие между внешним миром и миром внутренним. Конкретные науки никогда не заботились о том, чтобы оправдать этот трансцендентальный скачок, и поступали совершенно правильно. Если бы они поступали иначе, они никогда не добились бы таких быстрых успехов. К тому же, самое главное, никогда не следовало и никогда не следует опасаться опровержений, ибо подобные вопросы не могут решаться путем рассуждений».

Но выбранный Планком вариант защиты науки о реальности самой по себе – далеко не лучший. По той простой причине, что если подобные вопросы нельзя решить путем рассуждений, а значит, и любым другим путем, то о них, стало быть, и говорить не следует, а следует согласиться с индетерминистами, что физический процесс неотделим от приборов и от органов чувств. Ну, а отсюда выходит, что мир вне наших ощущений не существует.

Л. де Бройль, а вслед за ним и Д. Бом пытались предложить такую интерпретацию квантовой механики, которая бы снимала все эти противоречия в пользу сохранения классической физической реальности, но в пользу ее принципиально вероятностного истолкования и тем самым разрешить проблему унификации классических и неклассических представлений. К сожалению, такие попытки в полной мере тоже не дали ожидаемых результатов, и особенно это относится к проблеме интерпретации волновой функции. Между тем от того, как она будет объяснена, зависит наполнение квантовой физики физическим содержанием в смысле онтологии, а отсюда и соответствующая интерпретация методологической системы и унификации представлений о макро-микромире. В ходе обсуждений этой проблемы отход от классической методологии окончательно закрепился, но закрепился в пользу методологии позитивистской, которая была подвергнута убедительной критике во второй половине XX в. в процессе развития новейших физических теорий, и прежде всего таких, как теории единого поля, теория элементарных частиц, теория великого объединения, космология и др.

В современной физике определились тенденции, которые позволяют нам говорить о том, что складывается новая физическая картина мира. Эти тенденции имеют некоторые параллели с развитием классической механики и ее методологии, и формированием механистической картины мира. Такая параллель, в частности, заключается в существующих сейчас попытках интерпретировать будущую новую физическую картину мира как законченное и унифицированное физическое знание о мире и методах его получения, что, как мы показали в преды-

дущих статьях, имело место и в случае классической механики и механистической картины мира. Надо сказать, что для таких выводов имеются определенные резоны, связанные с интеграционными процессами в современной физике.

Одно из направлений интеграции представляет собой попытку построения так называемой теории всего, описывающей общим формализмом электромагнитные, гравитационные, сильные и слабые взаимодействия. Другое направление, напрямую связанное с первым, — слияние космологии и физики высоких энергий. Следует отметить, что существуют попытки «безмассового», «беспространственного» и «безвременного» формулирования физических понятий и законов.

Разумеется, приведенное деление носит условный, в значительной степени абстрактный характер, так как все эти направления в познавательной реальности связаны между собой самым тесным образом, что особенно относится к первым двум и вызвано именно тенденцией к унификации физического знания. Они используют одинаковые формализмы, опираются в основном на одну и ту же эмпирическую базу. Основанием для их выделения является известная разница в предметных областях и акцентах в методологии и методике. Третье направление имеет гипотетический характер, становление его лишь начинается, и оно нуждается в самом тщательном анализе. Оно очень перспективно еще и в том смысле, что, видимо, в процессе своего развития потребует принципиального, фундаментального изменения всей логики и психологии нашего мышления и, как следствие, разработки новых методов унификации. В силу этих обстоятельств мы здесь не будем на нем останавливаться, а обратим внимание на первые два направления, причем более детально рассмотрим второе, так как сколько-нибудь серьезное его методологическое обоснование пока отсутствует. Но прежде выскажем ряд общих соображений, имеющих фундаментальное значение для нашего исследования.

Все указанные направления унификации в современной физике реализуются преимущественно на основе использования аксиоматического либо гипотетико-дедуктивного метода. Исследование существующих в физике аксиоматик, проведенное ранее, показало, что именно аксиоматический подход дает максимальное число возможностей в создании новых унифицированных физических теорий с новыми формализмами на основе анализа общих физических и методологических принципов, упорядочивающих и обобщающих на первый взгляд различные физические понятия и теории. Для физики в любой аксио-

матике всегда существует элемент искусственности в создании аксиоматической базы, поскольку аксиомы выбираются так, чтобы соответствовать теории, а также потому, что появляется необходимость вводить так называемые пустые термины, не имеющие онтологической нагрузки, но гносеологически необходимые для составления аксиоматической системы в соответствии с правилами логики. В дальнейшем эти пустые термины либо получают онтологическую интерпретацию, либо, если таковой найти невозможно, исключаются из системы, их заменяют новые, более адекватные объекту физической теории. Это приводит к изменению исходных аксиом и, как следствие, к разработке новой теории или теоретической концепции, где предыдущая теория является их предельным случаем.

Аксиоматизированные таким образом физические теории соответствуют обычно тому общему, унифицированному взгляду на единство природы, который господствует в тот или иной период развития физики, а наиболее фундаментальные теории объявляются единственными теориями. На современном этапе развития физики аксиоматическая система требует такого построения физического знания, чтобы все его результаты выступали как строгие математические следствия унифицированной системы аксиом. Это наиболее отчетливо видно при анализе единой теории поля.

Однако создание единой аксиоматики, охватывающей все физические теории как целое, весьма затруднено из-за бесконечного разнообразия физических явлений, каждая группа которых требует для своего описания специфического математического аппарата. Но попытки создания общих аксиоматических систем в физике необходимо продолжать, так как они имеют большое эпистемологическое, методологическое и эвристическое значение, если представлять подобные системы не как нечто окончательное, а как определенный этап развития физического знания. Мы считаем, что основным направлением развития аксиоматики в контексте построения единых теорий, направлением наиболее правильным и продуктивным может быть создание аксиоматических систем, описывающих не структуру мира (она слишком разнообразна для успешной унификации ее в едином формализме), а процессы, т.е. фактически создание унифицированной аксиоматики суперсилы. Такая аксиоматика должна строиться, на наш взгляд, на основе интерпретации ограниченного числа фундаментальных физических констант, связанных именно с физическими процессами.

В нашем случае следует особо отметить, что ввиду чрезвычайной сложности, а порой и невозможности (из-за больших энергетических и экономических затрат) как прямой, так и косвенной эмпирической проверки вытекающих из системы аксиом новых физических следствий и гипотез они должны подвергаться прежде всего математическому и формально-логическому анализу, компьютерному исследованию и т.п., на предмет выявления противоречий и расхождений. Онтологическая верификация унифицированных гипотез может в этом случае осуществляться с помощью методологического анализа и анализа выполнимости общезначимых законов, закономерностей и принципов.

Все сказанное выше мы выделяем как составляющие первой стороны проблемы унификации физического знания, проблемы интегративных процессов в физике. Вторая ее сторона связана с выявлением и анализом новых общезначимых законов, закономерностей, принципов и понятий.

Как показывает исследование имеющихся сейчас новых физических теорий и гипотез, физический язык в этом контексте развивается в направлении все большего обобщения описаний физических явлений и процессов. Особенно характерно в этом отношении развитие космологии и физики высоких энергий, которое идет именно в русле их унификации, проявляющейся в стремлении объяснить как мега-, так и микромир единым образом. Как показывают современные исследования в этой области, нельзя отделять квантовую реальность от структуры всей Вселенной, а состояние отдельной частицы имеет смысл лишь тогда, когда она рассматривается в рамках единого целого и ее поведение описывается законами, общими не только для всех частиц Вселенной, но и для Вселенной как целого. И здесь надо разрабатывать такой физический язык, который бы соответствовал в равной степени как частице, так и Вселенной. Следовательно, использование методологических возможностей философского знания в данном случае представляется необходимым. Необходим и сам анализ механизма и форм реализации методологической функции философии.

Известно, что методологическая функция философии в физическом познании реализуется прежде всего в конструктивной и нормативно-регулятивной формах, так как физика с самого начала вынуждена использовать внетеоретические, философские положения именно в силу предельной общности понятий, лежащих в ее основании (пространство, время, однородность и др.). Это, однако, не означает, что физические теории, независимо от степени их общности, включают

эти понятия в свою структуру в их философском виде. «Вхождение» философских категорий, принципов и законов в концептуальный аппарат теории определяется спецификой предмета познания. Налагаясь «матрицей» на философские категории, принципы и законы, этот предмет «вычленяет» из их содержания то, что конструктивно входит в круг интересов теории, составляет основу ее содержательной структуры. Так, например, в космологии вычленяются физико-геометрические свойства пространства, принцип всеобщего и универсального взаимодействия применяется лишь к явлениям, происходящим в пределах светового конуса, закон отрицания отрицания конкретизируется при изучении последовательных этапов генерации многообразия элементарных частиц с «помощью» скалярного поля и т.п.

В то же время философское содержание категорий, принципов и законов обуславливает их нормативно-регулятивную форму. В этой форме философские категории, принципы и законы входят в теорию через физическую картину мира, которая с их помощью определяет методологию конкретно-научного исследования. И чем детальнее конкретизация философских представлений, чем корректнее и совершеннее сама философия, тем корректнее конструктивная и нормативно-регулятивная формы реализации ее методологической функции. Эти рассуждения можно отнести и к прогностической форме реализации методологической функции философии. Весьма показательным в этом плане является использование принципа причинности, в частности в космологии, в контексте включения в ее исследования квантовой методики в рамках великого объединения. Так, не считаются удачными те представления, которые приводят к нарушению принципа причинности, даже если они и обладают математическим формализмом, имеющим удовлетворительные следствия для дальнейшего развития теории. Отсюда вытекает требование поиска соответствующих конкретно-теоретических представлений с формализмом, отвечающим принципу причинности, но в силу квантовых эффектов необходимо использовать неклассическую интерпретацию этого принципа.

Здесь следует отметить, что развитие философских представлений, уточнение, углубление содержания философских категорий, принципов и законов должны не просто и не только следовать за развитием естественно-научных теорий, но и опережать его. В противном случае философия будет выступать методологией научного познания «пост-фактум», следуя за развитием науки на уровне обобщений конкретно-научных достижений. В современных условиях для философии этого

явно недостаточно. Она должна не только обобщать, но в известных пределах и направлять развитие физического познания в частности и научного в целом, предоставляя ему соответствующую развернутую методологическую базу. Это также позволит философии стать основой для успешного решения проблем унификации физического знания, что определяет третью сторону развития интегративных процессов в физике.

Еще одна сторона унификации процессов в физике связана с анализом структур и языка стандартных разделов физики и поиском общего для них. Традиционно физика делится на довольно самостоятельные разделы: классическую механику, оптику, электромагнетизм, термодинамику, статистическую физику, квантовую механику, атомную и ядерную физику и т.д. За этим в известной степени искусственным разделением не видно согласования разделов физики друг с другом. Так, например, второй закон термодинамики, традиционно связываемый с ограниченным классом явлений и процессов (тепловых), может рассматриваться как один из наиболее общих законов, которые управляют всеми процессами в природе. Сейчас выясняется, что все вновь открываемые вещества и виды взаимодействий неизменно подчиняются этому закону.

Видимо, анализ всех физических законов и принципов с позиций возможной их унификации для все более широкого класса явлений и процессов позволит выявить новые законы или дать более обобщенную формулировку законам классическим. Такой анализ целесообразно проводить на основе выделения роли и места в законах фундаментальных физических постоянных как своеобразных законов сохранения универсального плана. Видимо, количество этих фундаментальных постоянных необходимо пересмотреть, поскольку имеются возможности их переформулирования друг через друга или через постоянные, имеющие более глубокий смысл и физически более содержательные. Очевидно, это подтверждает известный тезис о всеобщей гармонии природы, базирующийся на представлении об ограниченном числе возможностей существования воспринимаемого нами мира, т.е. на принципе простоты.

Как известно, развитие теории великого объединения носило и во многом продолжает носить гипотетико-дедуктивный, а местами и метафизический характер. Основная цель создания этой теории – унифицировать представления о силах взаимодействия между элементарными составляющими нашего мира. Первые попытки такой унификации были предприняты А.Эйнштейном, который стремился создать теорию,

объединяющую электромагнитные и гравитационные силы на основе геометрического представления пространства-времени. Однако при построении своей теории Эйнштейн не учел множество не известных современной ему науке факторов, и прежде всего существование сильных и слабых взаимодействий. Поэтому его попытки оказались безуспешными в смысле создания единой теории поля, но весьма полезными с точки зрения методологии.

Напомним, что сильное взаимодействие связывает протоны и нейтроны в ядре, а слабое ответственно за бета-радиоактивность. Обе эти силы действуют на значительно более коротких расстояниях, чем гравитационная и электромагнитная силы: сильное взаимодействие – на расстояниях порядка 10–13 см и слабое – на расстояниях 10–15 см. Переносчиками слабого взаимодействия являются промежуточные векторные бозоны, сильного – глюоны, электромагнитного – фотоны и гравитационного – гравитоны.

Была выдвинута гипотеза, послужившая основой для унификации представлений о слабом и электромагнитном взаимодействиях в теорию электрослабого взаимодействия. Суть этой гипотезы состояла в том, что если связь между двумя названными взаимодействиями существует, то слабые силы, как и электромагнитные, должны быть калибровочными. Следствием данной гипотезы, вытекающим из математических соображений, было предположение о необходимости существования триплета промежуточных частиц, из которых одна частица заряжена положительно, вторая – отрицательно, а третья нейтральна. Основу электрослабой фундаментальной силы в таком случае составляют указанный триплет и фотон, представляющие собой разные проявления этой силы. Однако потребовалось постулировать существование еще одной частицы, ответственной за нарушение симметрии между бозонным триплетом и фотоном. Такую частицу назвали частицей Хиггса. Кроме того, формализм теории привел к предсказанию существования нового кварка и его партнера.

Экспериментальное исследование взаимодействия нейтрино с протонами и нейтронами дало первое эмпирическое подтверждение истинности теории, имевшей до этого сугубо гипотетико-дедуктивный характер. В дальнейшем был получен еще ряд обнадеживающих результатов, предсказанных теорией электрослабого взаимодействия, источниками которого являются лептоны.

Следующим шагом к унификации сил стали попытки объединить электрослабое и сильное взаимодействия в единую силу. Здесь основ-

ная идея также заключалась в использовании концепции калибровочной симметрии, связывающей интенсивность взаимодействия с зарядом. В случае сильного взаимодействия в качестве подобного заряда выступает так называемый цветовой заряд, которым обладают кварки и глюоны. Он является своеобразным аналогом электрического заряда. Но если электромагнитное поле создается зарядом только одного вида, то глюонное поле требует для своего создания три различных цветовых заряда – красный, синий и зеленый. Источником же сильного взаимодействия являются кварки.

Требование локальной калибровочной симметрии – инвариантности относительно изменений цвета в каждой точке пространства – привело к необходимости введения представления о компенсирующих силовых полях. Математический формализм позволяет на этой основе вывести гипотезу о существовании восьми таких полей, переносчиками которых являются глюоны. Значит, должно быть восемь различных типов глюонов. Тем самым сильное взаимодействие значительно отличается от электромагнитного, переносчиком которого является фотон, и слабого, имеющего трех переносчиков. Другое отличие заключается в усилении сильного взаимодействия при увеличении расстояния между кварками, тогда как остальные взаимодействия при увеличении расстояния между частицами ослабевают. Развитие квантовой хромодинамики позволило понять физику данного явления. Эксперименты же косвенно, а в ряде случаев и непосредственно подтверждают истинность теоретических построений квантовой хромодинамики, имеющей гипотетико-дедуктивный характер. Таким образом, можно считать, что и в случае сильного взаимодействия, так же как и в случае электромагнитного и слабого, мы имеем описание его на основе калибровочных полей. Такая общность исходных методов построения теорий позволила начать поиски унификации этих трех взаимодействий в великое единое взаимодействие. Поиски привели к появлению нескольких конкурирующих теорий великого объединения, основанных на одной и той же идее – идее единой симметрии.

Существенно общим моментом всех теорий великого объединения является то, что кварки и лептоны включаются в единую теоретическую схему. Кроме того, использование калибровочной симметрии снова чисто теоретически требует увеличения числа компенсирующих полей, обладающих свойством превращать кварки в лептоны, и соответствующего им числа частиц, также включаемых в эту теоретическую схему.

Само же разнообразие теорий великого объединения определяется разными возможными математическими подходами, осуществляемыми на основе разных методов унификации. Они дают различные следствия, эмпирическая проверка которых позволила бы выбрать наиболее адекватную теорию. Однако прямые эксперименты невозможны, во всяком случае в обозримом будущем, так как они потребуют неимоверно огромной энергии: предполагаемая энергия унификации электрослабого и сильного ядерных взаимодействий должна быть, по некоторым теоретическим расчетам, не менее 10^{15} ГэВ. Такие значения величин энергии находятся далеко за пределами нынешних наших возможностей проверить их. Существуют более реальные, но в известном смысле и более косвенные возможности проверки. Речь идет о том, что в ряде теорий великого объединения предполагается нестабильность протона, но время его жизни оценивается по-разному. Если бы удалось экспериментально обнаружить явление распада протона и определить время его жизни, то можно было бы выбрать предпочтительную теорию. Кроме того, обнаружение магнитного монополя и определение его характеристик также способствовали бы решению проблемы выбора теории великого объединения. Но достичь этих результатов, во всяком случае с достаточной достоверностью, пока не удалось.

Итак, теоретически, на гипотетико-дедуктивной основе, удалось объединить три вида фундаментальных взаимодействий (электромагнитное, слабое и сильное) в единую теоретическую схему, имеющую несколько вариантов. Были получены и определенные эмпирические результаты, подтверждающие, по меньшей мере косвенно и по отдельным позициям, истинность пути создания объединенной теории. Остается построить суперединую теоретическую схему, включающую в себя еще и четвертое фундаментальное взаимодействие – гравитационное, и тогда унификация всех известных нам фундаментальных взаимодействий в форме единой теории будет завершена. Но эта последняя задача оказалась самой сложной. И основная сложность заключается в необходимости унификации вещества и сил, т.е. фермионов и бозонов. Кроме того, если первые три взаимодействия можно представить в виде силовых полей в пространстве и времени, то гравитация сама есть пространство и время, как утверждает общая теория относительности. Это обстоятельство создает весьма серьезные трудности при любых попытках квантования гравитационного поля и выявления физической природы пространства.

Формализм нового типа симметрии – суперсимметрии, соединяющей бозоны и фермионы в единый мультиплет, позволяет в известной степени обойти указанные трудности. Введение калибровочной инвариантности позволило, в свою очередь, представить гравитацию как калибровочную силу, соответствующую такой суперсимметрии. Созданная на этой основе теория гравитации, названная супергравитацией, дала базу для суперобъединения. Супергравитация отличается от обычной гравитации тем, что в качестве переносчиков взаимодействия выступает суперсимметричное семейство частиц, а не одна частица – гравитон.

Фактически суперсимметрия есть расширение пространственно-временных симметрий. Действительно, обычное пространство в теории относительности обладает симметрией относительно группы Лоренца – Пуанкаре. Но математически можно построить такие симметрии, для которых эта группа является лишь подгруппой множества пространственно-временных симметрий. Отсюда следует вывод о необходимости расширения представлений о пространстве до некоторого суперпространства. И здесь возможны различные варианты построения таких суперсимметрий. Именно на этом пути пытаются разработать единый формализм, описывающий и переносчики всех фундаментальных сил, и вещество, т.е. и бозоны, и фермионы как единый мультиплет возможных физических состояний, значительно расширяя их число по сравнению с теорией электрослабого взаимодействия и теориями великого объединения. Иными словами, эта теория предполагает, что должны существовать один гравитон со спином 2; восемь гравитонов со спинами $3/2$; 28 частиц со спинами 1; 56 частиц со спинами $1/2$ и 70 частиц со спинами 0. Но оказалось, что в число всех этих частиц не входят уже известные нам бозоны – переносчики электрослабого взаимодействия и не включаются все кварки и лептоны.

Для решения этой проблемы пришлось воспользоваться предположением о существовании еще более элементарных форм материи, чем известные нам элементарные частицы, – преонов, каждый из которых несет по одному из известных нам фундаментальных зарядов: трех цветовых, двух по аромату и трех, соответствующих различным семействам. Такой ситуации отвечает супергравитация уже в одиннадцати измерениях, которая эквивалентна четырехмерной расширенной супергравитации, содержащей расширенную внутреннюю симметрию для восьми электроядерных зарядов. На этом пути получены весьма обнадеживающие результаты, но эмпирическая проверка их невоз-

можно, так как унификация такого рода может осуществляться при планковской энергии – энергии порядка 10^{19} ГэВ, а это уже масштабы космологической энергии.

Таким образом, мы переходим с уровня элементарных частиц на уровень Вселенной. И единственный возможный сейчас метод проверки теорий великого суперобъединения – использование наблюдательных данных из области космологии. Именно на ранних стадиях развития Вселенной (около 10–15 млрд. лет назад) взаимодействия происходили с такими же огромными величинами энергий. Результатом этих взаимодействий является современный вид Вселенной. И экстраполяция современных наблюдательных космологических данных в далекое прошлое, позволяя восстановить это прошлое, одновременно дает возможность проверять истинность теорий великого объединения. Иными словами, любая современная теория или гипотеза из области физики высоких энергий должна проходить «космологическую проверку», позволяющую отбрасывать те представления, которые не выдерживают такого испытания. Но здесь возникает важная методологическая проблема, которую можно сформулировать в виде вопроса: а не проверяем ли мы одно неизвестное через другое неизвестное?

Дело в том, что основным источником наблюдательных космологических данных являются исследования электромагнитного фонового излучения, имеющего космологическую природу, а также структуры Вселенной в больших масштабах (~ 1 Мпк). Но экстраполяция в прошлое Вселенной, проводимая на основе этих данных, вынужденно базируется на теоретических и экспериментальных результатах физики высоких энергий, так как ранняя Вселенная представляла собой горячую плазму, состоящую из частиц и античастиц. Сверххотное же состояние Вселенной можно описать только с помощью великого суперобъединения. Таким образом, решение указанной методологической проблемы возможно лишь на пути создания такой унифицированной теории, которая описывает не только микромир в целом (теория великого суперобъединения) или мегамир (Вселенную) в целом (космология), но и то и другое вместе. В этом случае теория великого суперобъединения, как и космология современного состояния Вселенной, является частью новой, более общей теоретической конструкции, предлагающей нам единую картину единого физического мира.

Разработка такой единой физической теории ставит перед исследователями ряд сложных методологических проблем. И одной из наиболее существенных является проблема соотношения этой теории

с реальностью. Речь идет о том, что возникает метафизический соблазн (и в известной степени небезосновательный на данном этапе развития научного познания) считать эту теорию последней физической теорией, которая представляет собой синтез теорий, выявляющий все фундаментальные взаимодействия, и космологии современного состояния Вселенной, описывающей все происходящие сейчас астрономические и астрофизические процессы. Предполагается, что этот синтез позволит описать прошлое, настоящее и будущее мира в целом. И тем самым мы будем знать все о нашем мире (лапласовский идеал познания). А такая физическая теория будет совпадать с физической реальностью. Если бы это случилось, мы приобрели бы абсолютную власть над природой – смогли бы по своему желанию создавать или превращать частицы, менять структуру пространства и времени, создавать новые миры.

Можно предположить, что для построения этой теории достаточно разработать подход к описанию космологических явлений с помощью квантования Вселенной как целого (квантовой космологии), проанализировать в рамках современной квантовой теории (теорий супергравитации, Калуцы – Клейна, суперструн и др.) представления о локальной структуре пространства-времени и глобальной структуре Вселенной, решить еще ряд проблем более частного порядка. Но достаточно ли этого на самом деле? На наш взгляд, здесь уместно вернуться к исторической аналогии, связанной с развитием классической физики. Тогда также казалось, что классическая физика, и прежде всего классическая механика, решив ряд на первый взгляд «мелких» проблем, даст нам окончательное знание о мире. Однако в процессе анализа этих «мелких» проблем в дальнейшем появились теория относительности и квантовая механика, которые полностью разрушили классическую картину мира. Уроки истории физики должны все-таки научить нас крайне скептически относиться к мыслям о возможности получения окончательного и полного знания о физическом мире.

В классической физике проблема соотношения теории с реальностью решалась просто и очевидно: если результаты, полученные из теоретических представлений, совпадают с экспериментальными данными, то теория истинна и соответствует реальности. Содержание понятий теории в этом случае считалось однозначно отражающим сущность реальных явлений, процессов и тел и независимым от наших ощущений (если исследователь придерживался материалистических воззрений). Выстраивалась довольно простая (с точки зрения современного исследователя) иерархия материальных объектов, составляю-

щих содержание объективной реальности, объективного мира: атомы и их движения и взаимодействия; молекулы как совокупность атомов, также обладающих своими специфическими состояниями; более крупные материальные образования – тела, состоящие из атомов и молекул, и так далее вплоть до человека и общества, а их, как считали некоторые ученые XVIII–XIX вв., можно также описать в принципе механическими законами.

Однако гегелевская идея развития по диалектической спирали воистину гениальная и всеобщая! И в нашем случае всякое разрушение (отрицание) программы достижения окончательного знания снова и снова приводит к ее возрождению на качественно новом уровне, на новом витке спирали. На начальном этапе развития неклассической физики, в первой четверти XX в., произошло разрушение лапласовского идеала, но в последней четверти столетия он снова возрождается в максимально мыслимом объеме и одновременно значительно усложняется.

Первые признаки возрождения тенденции построения единого знания о реальности (строго говоря, окончательно она никогда не забывалась, держалась, так сказать, «в уме») появились в период расцвета «классической» физики элементарных частиц. В 1964 г. В. Вайскопф заявил: «Нам хотелось бы объяснить все известные явления единым образом, и с этой точки зрения все науки в конечном счете представляют собой разделы физики». Одной из попыток создания такой теории была разработка В. Гейзенбергом единой полевой теории элементарных частиц.

Фактически Гейзенберг предложил все физические законы сформулировать с помощью одного уравнения. Отвечая критикам, он утверждал, что «требование универсальности обусловлено не претензией программы – оно с необходимостью следует из того, что элементарные частицы являются мельчайшими элементами материи... Единая теория поля должна служить рамками для всех физических явлений». Но в то же время «следует подчеркнуть, что фундаментальное уравнение не определяет законы во всех других областях физики полностью. Например, пока не добавлено специфическое предположение об асимметрии основного состояния, т.е. о космологической модели мира, электромагнитные законы из уравнения не следуют. Аналогично радиоактивность и гравитация, вероятно, связаны со структурой мира на больших расстояниях. В какой-то мере граничные условия, касающиеся основного состояния, являются довольно гибкими, и их

нужно привести в соответствие со свойствами реального мира; эта процедура отнюдь не тривиальна». Но ее нетривиальность не означает невозможности, так что, преодолев соответствующие трудности, мы, как можно заключить из слов Гейзенберга, имеем шанс создать единую теорию мира (в данном случае опирающуюся на единую теорию элементарных частиц).

Такая программа имеет под собой гносеологические основания. Действительно, развитие физики представляет собой последовательное объединение известных теорий фундаментальных взаимодействий (как мы уже указывали, таких взаимодействий сейчас известно всего четыре) в теории все большей степени общности. В 50-е годы XIX в. Дж. Максвелл разработал теорию электромагнетизма, описав как целое электричество и магнетизм. Далее открытие слабого взаимодействия привело к созданию в 1967 г. А. Саламом и С. Вайнбергом теории электрослабого взаимодействия, описывающей единым формализмом электромагнитное и слабое взаимодействия. Теория получила надежное подтверждение в 1983 г. благодаря открытию W- и Z-частиц.

Существует несколько вариантов теорий великого объединения, включающих описание сильного взаимодействия. Эмпирических данных, позволяющих сделать окончательный выбор, пока нет, но их с нетерпением ожидают в связи с пуском нового суперколлайдера в ЦЕРН'e. Сейчас быстро растет число теоретических предпосылок для свержообъединения всех фундаментальных взаимодействий (включая гравитацию) в единую суперсилу, что позволит, по мнению некоторых исследователей, создать унифицированную теорию, описывающую физическую реальность. Уверенность в благополучном исходе исследований настолько велика, что С. Хокинг видит в этой теории кульминацию теоретической физики: такая теория и есть сама реальность. Более осторожный П. Девис утверждает, что «подобно многим заманчивым образам единая теория может оказаться миражом, но впервые за всю историю науки у нас складывается представление о том, как будет выглядеть законченная научная теория всего сущего». Фактически мы имеем сложившуюся сейчас и завоевывающую все большее влияние методологическую установку на создание унифицированной и, в известном смысле, конечной теории мира, пусть даже и не имеющей возможности быть проверенной эмпирически в ближайшем будущем, но тем не менее истинной. Можно ли согласиться с такой установкой парадигмального характера? Мы считаем, что делать это нельзя ни в коем случае.

Наше отрицательное отношение к такого рода установкам определяется следующим. Прежде всего, ограничение числа фундаментальных взаимодействий четырьмя ничем не обосновано. Тахионная гипотеза и возможный выход теоретических представлений о мире за пределы такой достоянной, как скорость света, вводимой, строго говоря, аксиоматическим образом, приводят к предположению о возможности существования других видов фундаментальных взаимодействий. Данная проблема обостряется и в связи с нерешенностью проблемы количества пространственно-временных измерений.

Действительно, проблема постоянства скорости света, которая в известной степени сейчас выпала из поля зрения исследователей, тем не менее остается в принципе нерешенной: неизвестно, существует ли зависимость скорости света от направления его распространения; не выяснены вопросы, какова причина именно такого значения величины скорости света, каков механизм ее постоянства, если она постоянна, и т.д. Любой ответ на эти вопросы может принципиально изменить существующие сейчас физические подходы. Что касается числа пространственных измерений (речь идет о реальном пространстве), то решение этой проблемы может еще более кардинально изменить физическую картину мира.

Есть много фактов, которые на первый взгляд подтверждают трехмерность пространства: известно, что орбиты планет устойчивы в пространстве с числом измерений, не превышающем трех, атомы устойчивы также только в четырехмерном пространстве-времени и т.д. Но существуют силы, которые не описываются обратной пропорциональностью квадрату расстояния, как гравитационные и кулоновские, и предполагают существование пространств с большим числом измерений. Для создания же непротиворечивой теории, объединяющей описание мега- и микромира, необходимо, чтобы в масштабах 10^{-33} см размерность пространства-времени составляла $N = 10 + 1$. Если масштабы значительно большие, то мы наблюдаем пространство-время с $N = 3 + 1$, а остальные измерения скомпактифицированы (свернуты) в 7-сферы. Свернуть многомерные пространства можно различными способами, и чем больше число измерений, тем больше вариантов свертывания, тем больше набор возможных топологий. Но вместе с тем возможны и достаточно непротиворечивые варианты физики мира, в котором реализуется пространство-время с $N = 9 + 1$. Эта возможность связана с моделью Вселенной, составленной из мини-вселенных, а также с развивающейся сейчас физикой суперструн.

Таким образом, ответ на вопрос о количестве измерений пространства остается открытым. В последние годы появился вариант ответа на этот вопрос с помощью так называемого антропного принципа, критика которого опять-таки подтверждает, что мы правы в своем отрицательном отношении к методологическому тезису о возможности создания окончательной физической теории.

Из механизма введения антропного принципа в научный оборот и его формулировок можно видеть, что он не соотносится с каким-либо природным процессом или их группой, т.е. не имеет онтологической нагруженности. Кроме того, в основе этого принципа лежат представления о фундаментальных постоянных, которые, как утверждают большинство его сторонников, якобы определяют вид Вселенной. Мы же считаем, что, наоборот, вид Вселенной определяет эти постоянные. Следует учесть и тот факт, что гипотеза больших чисел трактует взаимосвязь постоянных, не учитывая того, что любое их изменение должно вызывать и соответствующие изменения связанных с ними законов, и наоборот, а это приводит к новому миру с новой физикой. Но фиксировать изменения такого рода наблюдателю будет, видимо, чрезвычайно сложно, так как они вызовут изменения и самого наблюдателя, и результатов наблюдений, и снова (и одновременно) мир наблюдателя будет для него естественным (если, конечно, не исчезнет сам наблюдатель). Проблема же фундаментальных взаимодействий и фундаментальных постоянных возникнет снова. Да и наличие космологической сингулярности подрывает утверждение о такой уникальности нашей Вселенной, а тем самым и этот пресловутый антропный принцип.

Наконец, в анализе проблемы соотношения унифицирующей теории как максимально мыслимой и реальности следует выделить еще один аспект, имеющий методологическое значение. Речь идет о роли наблюдателя, но не в контексте антропного принципа, а в контексте представления наблюдателя как познающего субъекта. В более узкой части этой проблемы речь может идти о триаде человек – прибор – объект наблюдения. Как выяснилось еще в квантовой механике, мы фактически наблюдаем не сам реальный объект, а результат его взаимодействия с прибором. В таком случае можно сформулировать проблему в более общем плане: а не сказывается ли присутствие активного познающего субъекта на состоянии всей Вселенной? Тем более, что состояние Вселенной (по меньшей мере такого ее фрагмента, как Солнечная система) сказывается на человеке и его самочувствии, а это предполагает наличие обратной связи. Таким образом, создаваемая

исследователем теория, видимо, относится не к чистой онтологии, а к ее преломлению через призму человеческой сущности.

Следовательно, необходимо предположить, что в нашем случае мы также будем иметь теорию, не совпадающую однозначным образом с онтологией. Все это позволяет сделать вывод о необходимости поиска законов более фундаментального порядка, так сказать, законов второго уровня, которые определяют и известные сейчас фундаментальные взаимодействия, и законы этих взаимодействий, т.е. речь идет о выходе на второй уровень унификации (если первым считать все предшествующее созданию единой теории и саму теорию познания). На этом уровне познания можно будет выявить причины существования именно четырех фундаментальных взаимодействий, суперсилы, их объединяющей, и значение фундаментальных констант. Но здесь нам нужна принципиально иная методология, черты которой в самом общем, прикидочном виде уже намечаются.

Другой важной проблемой в процессе разработки унифицированной теории, связанной с ее методологическим обоснованием, является проблема целостности. Ранее мы уже отмечали, что великое объединение описывает единой теорией локальное взаимодействие, космология – глобальное, а эта теория ставит своей задачей установить связь между локальным и глобальным в системе взаимодействий. Разрешение парадокса Эйнштейна – Подольского – Розена в пользу признания нелокальности квантовых состояний позволяет использовать методологию холизма, требующую понимать свойство отдельной физической системы через понимание всего мира. Иными словами, состояние отдельной частицы имеет смысл только в контексте состояния Вселенной. В этом отношении представления о разделении материи «первоатома» в процессе Большого взрыва, родившего нашу Вселенную, на различного рода частицы и поля выглядят, несмотря на свою убедительность и известную эмпирическую обоснованность, несколько искусственными, а более соответствующими объективной реальности являются представления о Вселенной и микромире как целом, содержащем части, которые сами представляют собой это целое. Унифицированная теория в таком случае должна представлять свой объект исследования не как глобальную совокупность физических объектов и взаимодействий между ними, составляющих Вселенную, а как непрерывное целое.

Подобное представление объекта исследования создает значительные трудности как логического, так и психологического плана.

Чисто психологически для человека характерно стремление распространять, экстраполировать на весь мир законы, выведенные из анализа непосредственно (либо опосредованно – через приборы) воспринимаемого им мира. Мышление человека предметно в смысле вещности и поэтому дискретно, так как дискретны сами вещи. Логика и математика раскрывают связи между вещами, поэтому они также дискретны, построены по принципам «да – нет», « $1 + 1 = 2$ ». Здесь фактически нет места непрерывному целому. Возможный выход из данной эпистемологической ситуации может лежать в утверждении процессуальности мира, в построении картины мира как процесса. Тогда, например, можно попытаться построить непрерывную логику по аналогии со сложением токов: сложение одного тока с другим дает не два тока, а один ($1 + 1 = 1$). Это будет логика развивающихся объектов, а в математике мерность пространства решений не обязательно будет целочисленной. Видимо, придется пересмотреть и идею дискретности квантовых переходов, и идею непрерывности пространства с целочисленными значениями измерений.

Одним из следствий подобных представлений может быть изменение интерпретации причинности. Временное следование причина – следствие теряет свой смысл. Причина и следствие рожают друг друга, как рожают друг друга мать и дитя. Тогда, возможно, существует не причинный порядок, определяющий Вселенную как целое и одновременно определяемый ею. В данном случае мы видим непосредственное проявление законов сохранения состояний в их глобальном выражении. На первый взгляд это парадоксально, но мы считаем, что уже сейчас в современной физике складываются подобные представления. В качестве примера можно привести проблему временной асимметричности в космологии.

Исследование этой проблемы – одна из задач унифицированной теории. Традиционное ее решение уже сейчас не выглядит в полной мере удовлетворительным. Дело в том, что исходные принципы решения данной проблемы в пользу временной последовательности из прошлого через настоящее в будущее опираются на постулаты специальной теории относительности. Последние, в свою очередь, связаны с описанием электромагнитных взаимодействий, которые хотя и представляют собой широкий класс физических взаимодействий, не универсальны в полном смысле этого слова. Кроме того, выше мы уже отмечали недостаточную обоснованность самих постулатов. Это касается прежде всего постулата предельности скорости света. Здесь мож-

но возразить, что если обоснованы и эмпирически подтверждены следствия, то обоснованы и сами постулаты. Но это не так: обоснование истинности постулата можно считать удовлетворительным, если мы знаем физический механизм, лежащий в его основе и являющийся следствием других процессов, описываемых теорией более высокого уровня, чем та теория, в основе которой лежит данный постулат. Короче говоря, постулат можно считать доказанным, если он является следствием теории с большим полем действия. Следовательно, нельзя утверждать, что классическая специальная, да и общая теория относительности, доказывает необратимость времени, а тем самым и космологическую временную асимметричность. Скорее всего наблюдаемая нами асимметричность является частью какой-то более высокой симметрии, что соответствует методологическому принципу симметрии.

Современные неклассические теории гравитации допускают локальную обратимость времени. В качестве примера можно привести гипотезу о возможности существования нешварцшильдовских топологических ручек, где возникает проблема глобальной причинности. Дело в том, что свет может попадать по ручке в удаленные друг от друга области пространства за сроки, с точки зрения пространства ручки несовместимые с фундаментальной скоростью распространения в нем сигналов. На основе этой идеи высказывается предположение о возможности создания «машины пространства–времени» (К. Торн, И.Д. Новиков и др.).

Кроме того, сценарий раздувающейся Вселенной допускает существование сильных флуктуаций метрики пространства Вселенной. Флуктуации, в свою очередь, приводят к разбиению Вселенной на большие области, находящиеся в различных состояниях. Свойства пространства-времени в этих областях будут различными. Таким образом, глобальная геометрия Вселенной отличается от геометрии фридмановских вселенных, представляющих собой мини-вселенные с разными свойствами, а законы в них могут быть взаимоисключающими. Топологические ручки могут связывать эти вселенные друг с другом, что «снимает» в определенной степени остроту проблемы глобальной причинности, сводя ее к относительно локальным представлениям о причинности. И здесь возможны, видимо, случаи локального обращения времени, связанные с обращением временного порядка событий, происходящих в некоторых системах отсчета. Но отсюда возникает идея существования неких «избранных» систем отсчета (по отноше-

нию к каким-либо событиям). Нарушается принцип относительности Эйнштейна.

Введение представлений о тахионах может «снять» это нарушение и восстановить временной порядок, а тем самым объяснить временную космологическую асимметрию. Однако такой подход требует расширения принципа причинности: с обоснования данного принципа на уровне электромагнитных взаимодействий придется перейти к его обоснованию на уровне более широкого класса взаимодействий. Такая проблемная ситуация практически еще не обсуждалась, и, как нам кажется, здесь существует определенная возможность выхода на теорию более высокого уровня, чем какие-либо существующие сейчас. Но это предполагает разработку в рамках унифицированной теории вариантов супер-суперобъединения, включающих не только известные фундаментальные взаимодействия, но и гипотетические взаимодействия, связанные с тахионами. Природа подсказывает нам великое множество вариантов объяснения и описания мира, и нельзя априори отбрасывать те из них, которые нам не нравятся по тем или иным причинам. Толерантность и плюрализм как методологический принцип здесь суть обязательные условия достижения нашей общей цели – познания мира.

Таким образом, можно видеть, что методологическое обоснование процессов создания унифицированной теории лишь на первый взгляд выглядит простым и тривиальным, достаточно только признать принцип всеобщей универсальной взаимосвязи. Однако ситуация здесь гораздо сложнее. Если мы будем конкретизировать этот принцип, с одной стороны, и пойдем дальше конкретных методологических требований гипотетико-дедуктивного подхода, ставшего классическим в современной физике, – с другой, то выйдем на новые методологические представления. Причем они предполагают не только коренное преобразование мировоззрения, логики и психологии исследователя, но и уточнение предмета и объекта такой теории, направленности ее развития. Перед нами вырисовывается и новая конкретно-научная программа, и новая методологическая парадигма.

Новая парадигма предполагает, на наш взгляд, создание унифицированной физической теории как науки не о предметах, а о процессах. Начавшись с описания фундаментальных структур микро- и мегамира, их взаимосвязи, она должна перейти к изучению процессов, формирующих эти структуры и взаимосвязи. И здесь необходимо учесть и заново проанализировать роль и содержание фундаментальных физических констант, особенно с точки зрения их взаимосвязи: возможно

ли такое сочетание констант, при котором значения каждой из них отличаются от общепризнанных, но структура мира остается такой, какой мы ее наблюдаем. Дело в том, что есть известные основания сомневаться в постоянстве ряда констант, в частности постоянной тяготения. Именно процессуальный подход позволит, по нашим первым прикидкам, построить теорию, в которой роль этих констант меняется с ведущей на вспомогательную, поскольку такой подход предполагает выделение глубинных процессов, определяющих константы. В рамках же классической физики считается, что константы сами определяют процессы: процессы таковы потому, что таковы константы.

Другое фундаментальное методологическое требование связано с разработкой подходов к описанию космологических явлений с помощью квантования Вселенной как целого (холистический подход). Одновременно с этим необходимо будет решить проблему мерности пространства, структуры пространства-времени на всех уровнях — микро-, макро- и мегауровне. Но, повторим, здесь необходимо будет кардинально изменить нашу логику.

Следует сказать несколько слов об эмпирическом обосновании унифицированной теории. Мы уже неоднократно отмечали, что непосредственная экспериментальная проверка современных физических унифицированных концепций представляется на данном этапе развития науки невозможной из-за ограниченных энергетических ресурсов человечества. Поэтому основное внимание необходимо уделять разработке косвенных эмпирических методов. К ним можно отнести астрономические наблюдения и поиск редких процессов (таких, как распад протона), новых, предлагаемых теорией частиц (на основе анализа результатов взаимодействия космических лучей с земными материалами) и т.п. Видимо, математическое моделирование в такой ситуации будет одним из основных методов исследований, поскольку оно позволит проводить вычислительные эксперименты, осуществлять репрезентативную обработку результатов косвенных исследований. В какой-то мере это даст нам возможность выбирать концепции, в большей степени удовлетворяющие критериям истинности.

К эмпирическим исследованиям, которые в известной степени могут дать эмпирическое обоснование унифицированной теории, можно отнести поиски гравитационных волн и их локальных источников, а также реликтового гравитационного излучения. Здесь следует вообще расширить объемы исследований, так как они пока весьма

незначительны, экспериментальные исследования ведутся эпизодически, благодаря лишь энтузиазму отдельных исследователей.

Конечно, возможно, что в ближайшем будущем мы не получим результатов, имеющих практическое, народнохозяйственное значение, ибо большей фундаментальностью, чем унифицированная теория всех взаимодействий, не обладает ни одна другая наука. Но только подобная теория сможет дать нам такое видение мира, которого никогда не было за всю историю человечества и которое в какой-то степени скрыто в мифологических воззрениях древних. Следствием ее развития может быть новый человек.

§ 2. Метафизика, методология, физика

С одной стороны, каждая теория стремится стать методологической основой научного исследования, и в пределах поля действия самой теории именно так и происходит. Но с другой стороны, этот процесс обусловлен методологическими возможностями философских систем, функционирующих в обществе, определяется ими. Методологические возможности философии вместе с методологическими возможностями теорий позволяют выдвигать (в случае недостаточной эмпирической базы) такие метафизические гипотезы, которые в ходе развития научного познания могут эволюционировать в научные гипотезы, имеющие методологическое значение для развития теории. Это один из путей реализации методологической функции философии в процессе формирования и развития научных теорий. Он особенно нагляден в развитии физического познания, так как имеет здесь богатую историческую традицию.

Такая поисковая форма реализации методологической функции философии в физическом познании означает возможность выводимости конкретно-научных теорий из умозрительного, метафизического истолкования природы. И здесь мы сталкиваемся с проблемой обоснования истинности полученной теории. Примером этому могут служить безуспешные, но весьма поучительные попытки Оствальда, Авенариуса, Маха, Лоренца, Пуанкаре и других преодолеть кризис естествознания в конце XIX в. В свою очередь имеются и положительные примеры, связанные с историей становления и развития специальной и общей теорий относительности, которые драматически подтвердили взаимосвязь пространства, времени и материи, ранее предсказываемую на основе метафизических соображений.

В этом отношении богатые возможности для выявления места и роли метафизических оснований физических теорий дают попытки создания единой теории поля, или единой теории физической материи, призванной свести описание многообразных свойств элементарных частиц и законов их взаимопревращений к системе единых универсальных принципов, что позволило бы более глубоко понять сущность и структуру пространства. Создание такой теории методологически оправдано принципом всеобщего универсального взаимодействия, конкретизируемого содержательным образом на уровнях всеобщего, общего и особенного (конкретного) в процессе познания. Данная конкретизация определяет и возможные направления объединения различных физических явлений, варианты и способы их сочетания, связанные с уровнем развития физического познания. Так, в уравнениях Максвелла объединяются электрические, магнитные и световые явления. Менее удачной была попытка объединения электромагнитных и гравитационных явлений на основе общей теории относительности, связывающей, в свою очередь, гравитационное взаимодействие материи с геометрическими свойствами пространства-времени.

Более удачным оказался путь расширения глобальной симметрии уравнений движения до локальной калибровочной симметрии, справедливой в каждой точке единого пространства-времени. На этом пути была построена объединенная теория слабого и электромагнитного взаимодействий лептонов и кварков, не имеющая пока противоречий с экспериментом и предсказавшая существование трех тяжелых масс (около 80–90 протонных масс) слабо взаимодействующих векторных частиц (промежуточных векторных бозонов), играющих роль переносчиков слабого взаимодействия. В данную схему пытаются включить и сильное взаимодействие, объединяющее в одно семейство и кварки, и лептоны. Одним из предсказаний такого объединения, называемого великим, допускающим экспериментальную проверку, является предсказание нарушения законов сохранения барионного и лептонного зарядов.

Другим направлением создания единой теории поля, включающим и гравитационное взаимодействие, является расширение калибровочной симметрии до так называемой супергравитации, объединяющей частицы с различными спинами. Но эти попытки оказываются пока малопродуктивными.

Исследования в области создания единой теории поля показывают методологическую ограниченность подходов, опирающихся только на

естественно-научные представления эмпирического плана, говорящие о неразрывной связи между всеми частицами, их взаимопревращаемости. В этом случае возникают рецидивы «дурной» метафизики, приводящие к смешиванию онтологии и эпистемологии. Так, В.Гейзенберга интересует, насколько схеме локальной причинности в смысле специальной теории относительности следуют реальные события природы. Но проблема должна ставиться наоборот: насколько схема соответствует реальным событиям. Методологически неправильно, некорректно поставленный вопрос приводит и к неправильным, ложным ответам, которые тем не менее могут сыграть в научном познании принципиальную роль: Например, по мнению В.Гейзенберга, многие физики ищут подлинно элементарные объекты, рассматривая в качестве этих объектов гипотетические кварки. Однако, как считал автор, это заблуждение. Если даже кварки и существуют, подчеркивает он, нельзя утверждать, что, скажем, протон составляют три кварка. Следует говорить, что он с той или иной вероятностью состоит из бесконечного числа различных конфигураций, включающих пары «кварк – антикварк». Поэтому понятие элементарной частицы следует заменить понятием фундаментальной симметрии. Таким образом, по Гейзенбергу, основания физических теорий надо искать не в реальных объектах и процессах, а в математических формализмах, а фактически в той метафизике, которую можно назвать классической и которая неоднократно подвергалась вполне обоснованной критике. И заблуждения такого рода в среде естествоиспытателей, к сожалению, не единичны и сейчас.

Для современного развития физического знания характерно стремление к синтезу и объяснению все большего числа отдельных фактов на основе все меньшего числа фундаментальных принципов. Предпринимаются попытки создания взамен традиционной, утилитарной формулировки различных разделов физики, не приспособленной для установления фундаментальных принципов, которые объединяли бы различные на первый взгляд теории, физических аксиоматических систем, объединяющих в единое целое отдельные физические теории. Здесь мы предполагаем остановиться на причинах возникновения этой тенденции, проанализировать некоторые пути и возможности аксиоматизации физических теорий и взаимодействие аксиоматики как метода построения теории и метафизики как основания теории при отсутствии достаточной эмпирической базы как для формулирования теории, так и для ее обоснования.

Как известно, физику можно излагать четырьмя способами. Это, во-первых, исторический подход, при котором физические теории рассматриваются в их генезисе, начиная с исследования теоретических, экспериментальных и философских предпосылок теории через анализ различных попыток ее формулирования, которые привели к существующей формулировке, и кончая изучением влияния теории на будущее развитие физики. Существенным недостатком этого подхода является то, что он оставляет неясной логическую структуру физической теории, не выявляет наиболее фундаментальные с точки зрения логической завершенности принципы и понятия.

Во-вторых, это утилитарный подход, заключающийся в том, что физические теории излагаются в виде набора формул и рецептов действий с ними, которые позволяют вычислять различные возможные величины, характеризующие изучаемые в данной теории явления, причем обычно вне связи их друг с другом.

В-третьих, наиболее употребляемый эвристический подход, суть которого в том, что физические теории излагаются в виде совокупности теорем и формул, с помощью которых делают выводы о существовании и характере явлений, возможных в области реальности, изучаемой данной физической теорией и описываемой ее формализмом.

К недостаткам последних двух подходов можно отнести следующее: а) интуитивность основных понятий (например, понятий времени, длины, силы, массы, заряда и т.п.); б) интуитивно-наглядный, поверхностный характер исходных положений и принципов, которые имеют вид аксиом; в) отсутствие логически единой картины физики как целого; г) зачастую многозначный физический смысл теорий и символов; д) наличие большого числа нестрогих доказательств и выводов и т. д.

Четвертый, аксиоматический, подход позволит, очевидно, дать более полную, логически строгую формулировку теорий, более глубокое их понимание, выяснить суть и основное содержание той или иной физической теории. Здесь следует особо отметить, что данный подход уже сам по себе имеет метафизический характер, поскольку представляет собой (в условиях недостаточности эмпирических данных) задание исходных положений, не требующих строго обоснованных эмпирических оснований. Эти положения должны быть непротиворечивыми и давать в итоге эмпирически верифицируемую теорию. Но здесь может возникнуть коллизия – альтернативные теории.

Разумеется, все эти четыре подхода к изложению физических теорий применялись и всегда будут применяться, так как они имеют каж-

дый свои задачи и освещают различные стороны физического знания. Но именно аксиоматический подход дает больше возможностей в создании новых теорий с новыми формализмами на основе анализа общих принципов, упорядочивающих и обобщающих на первый взгляд различные физические понятия и теории. Причем известно, что для физика в любой аксиоматике всегда существует элемент искусственности в создании аксиоматической базы, поскольку он знает, что аксиомы выбраны так, чтобы соответствовать теории, которая, в общем, не изменится от введения этой аксиоматики. Однако для выявления того, в чем согласны различные, в том числе и альтернативные теории, и в чем они расходятся, необходимо обращаться к аксиоматике для того, чтобы понять и это согласие, и это расхождение. Изменение системы исходных аксиом может привести к созданию новой теории, имеющей определенное физическое значение и отличной тем самым от альтернативной, но относящейся к той же области объективной реальности, что подчеркивает метафизический характер оснований теорий.

На примере аксиоматического подхода, даже не совсем логически строгого и совершенного, можно показать, насколько интереснее соотношение, скажем, между ньютоновской и релятивистской динамикой материальной точки в контексте исследования проблематики пространства, чем если бы их рассматривать с точки зрения других подходов. Для этого построим систему первичных понятий и аксиом.

1. Пусть K^4 – дифференцируемый четырехмерный континуум; $K(x, y, z, t) – K_{x, y, z, t}$ – положение материальной точки; F – заданное поле сил; w – скорость распространения сигнала в K^4 .

2. Для ньютоновской динамики материальной точки ($w \ll c$)

$$dS = (dx^2 + dy^2 + dz^2)^{1/2} \quad (1)$$

– элемент длины K^4 ; для релятивистской динамики материальной точки ($w \sim c$)

$$dS = |dx^2 + dy^2 + dz^2 - dt^2|^{1/2} \quad (2)$$

– интервал K^4 .

3. Тогда

$$\begin{aligned} X &= x(t) \\ Y &= y(t) \\ Z &= z(t) \end{aligned}$$

является мировой линией точки, причем для релятивистской динамики

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 < 1, \quad (4)$$

так что

$$dS = (dx^2 - dy^2 - dz^2 - dt^2)^{1/2} \quad (5)$$

— элемент собственного времени точки.

Но если использовать собственное время в качестве параметра мировой линии: $x = x(S)$; $y = y(S)$; $z = z(S)$; $t = t(S)$, то

$$\left(\frac{dt}{dS}\right)^2 - \left(\frac{dx}{dS}\right)^2 - \left(\frac{dy}{dS}\right)^2 - \left(\frac{dz}{dS}\right)^2 = 1. \quad (6)$$

4. Если на материальную точку массой $m = m(t)$ действует сила $F(F_x, F_y, F_z)$, то для (3) при $m = \text{const}$

$$F_x = \frac{d}{dt} \left(m \frac{dx}{dt} \right); \quad F_y = \frac{d}{dt} \left(m \frac{dy}{dt} \right); \quad F_z = \frac{d}{dt} \left(m \frac{dz}{dt} \right), \quad (7)$$

при $m = m(t)$ и $F^4(x, y, z, t)$, с учетом (6), имеем

$$\begin{aligned} \frac{d}{dS} \left(m \frac{dx}{dS} \right) &= F_x; & \frac{d}{dS} \left(m \frac{dy}{dS} \right) &= F_y; \\ \frac{d}{dS} \left(m \frac{dz}{dS} \right) &= F_z, & \frac{d}{dS} \left(m \frac{dt}{dS} \right) &= F_t. \end{aligned} \quad (8)$$

Из выражения (6), следует, что система (7) включает в себе уравнения движения:

$$\frac{dm}{dS} = F_t \frac{dt}{dS} - F_x \frac{dx}{dS} - F_y \frac{dy}{dS} - F_z \frac{dz}{dS}. \quad (9)$$

Если $F(x, y, z, t)$ — заданные функции величин

$$m; x; y; z; \frac{dx}{dt}; \frac{dy}{dt}; \frac{dz}{dt}, \quad (10)$$

то частица движется в заданном поле силы. Тогда уравнения (7) определяют единственную мировую линию и массу m , соответствующую (10).

Предположим $m = \text{const}$ в нерелятивистской и в релятивистской динамике. Тогда в нерелятивистской динамике

$$F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2}; \quad F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2}; \quad F_z = m \frac{d^2 z}{dt^2}, \quad (11)$$

а в релятивистской динамике, в соответствии с уравнением (9),

$$F_t = F_x \frac{dx}{dt} + F_y \frac{dy}{dt} + F_z \frac{dz}{dt}, \quad (12)$$

так что F_t задается в отличие от F_x , F_y и F_z зависимым образом. Этот факт отличает существенным образом релятивистскую динамику от нерелятивистской, пока речь идет о движении частицы постоянной массы в заданном поле силы. Значительно большая разница между релятивистской и нерелятивистской динамикой возникает при анализе системы частиц, движущихся под действием сил, которые обусловлены только взаимодействием частиц. В этом случае метафизические основания играют еще большую роль в построении аксиоматики, так как она связана с проблемой однородности и изотропности пространства, конкретизируемой в данном случае в преобразованиях Лоренца. Причем чем большей степени общности достигает аксиоматика, тем важнее для ее построения конструктивная форма метафизических оснований.

Аксиоматизированные таким образом физические теории соответствовали тому общему взгляду на единство природы, который существовал в тот или иной исторический период развития физики. Например, механика Ньютона связана с метафизическим представлением о природе как о совокупности атомов, двигающихся в абсолютном пространстве и в абсолютном времени. С подобными представлениями связаны и классические теории теплоты (термодинамика и статистическая физика). Признание в качестве метафизических оснований основной роли в природе единой сплошной материальной среды, поля (континуальное понимание материи, противопоставляемое ньютоновскому корпускулярному пониманию) привело к электродинамике Максвелла и т.д.

Существенный недостаток развития научном познания в этом направлении явилось то, что законы той или иной теории представлялись абсолютными и универсальными. Иными словами, благодаря существованию тенденции к унификации происходила абсолютизация метафизических оснований. Создание квантовой теории и релятивистской физики опровергли эту абсолютность. Стал общепризнанным тот факт, что законы физических теорий ограничиваются определенной областью явлений. И все же в процессе эволюции неклассической физики наблюдались факты некритического переноса классических понятий, в неклассические теории, использования классических рецептов перехода от математических величин к физическим опять же с опорой на метафизику. Эта проблема носит эпистемологический характер. Она решается путем исключения из новой фундаментальной теории старых, казалось бы незыблемых, понятий, неклассической их интерпретацией или введением новых понятий. Таким образом, при создании аксиоматических систем в физике необходимо учитывать связь между господствующими метафизическими представлениями, фундаментальными физическими понятиями, их генезис, диалектику соотношения понятий и реальности, отражаемой в этих понятиях.

Следующим основным классом предпосылок аксиоматизации физических теорий являются *формально-логические предпосылки*. Действительно, любая аксиоматическая система представляет собой прежде всего формальную систему, записанную на основе логических и математических правил и требований. С помощью логических и математических правил и законов в аксиоматических системах проводится анализ понятий и формул, делаются выводы и доказательства. Тем самым любая аксиоматика является дедуктивной системой.

Анализ формально-логических предпосылок составляет предмет специального исследования, поэтому здесь мы лишь остановимся коротко на их эвристической ценности. Этот вопрос очень важен, поскольку ряд авторов, в том числе А.Эйнштейн и Р.Фейнман, отрицают эвристическую значимость аксиоматизации физики в силу формально-логического характера аксиоматики. Действительно, можно считать, что в системе аксиом и правила вывода содержатся все теории и следствия аксиоматической физической системы. Но это как раз и заставляет рассматривать ее как развивающуюся систему, в которой от незнания переходят к знанию, от метафизики – к физике, получают новые факты и теории, выявляются скрытые черты. Кроме того, в процессе создания системы манипулирование с аксиомами (замена одних

аксиом другими и т.п.) позволяет получать новые аксиоматические системы и даже новые теории, позволяет сравнивать конкурирующие системы, определять их границы и заменять более совершенными системами. Появляется возможность выделять то общее, что характерно для нескольких теорий. Иначе говоря, использование формально-логических основ аксиоматики выступает основой получения нового научного знания.

Примером этому может быть аксиоматическая теория поля – квантовая теория поля, которая строится таким образом, чтобы все ее результаты выступали как строгие математические следствия единой системы аксиом. К последним относятся причинность (или локальность взаимодействия), которая требует, чтобы событие, происшедшее в одной точке, не могло повлиять на событие в другой точке, если до нее не успевает дойти сигнал, движущийся со скоростью света (что равносильно утверждению об отсутствии в природе сигналов, скорость распространения которых больше скорости света); релятивистская инвариантность, т.е. независимость физических законов от выбора системы координат и ее равномерного и прямолинейного движения; спектральность, которая требует, чтобы энергия любого допустимого состояния системы была положительна по отношению к энергии вакуума, принимаемой за нулевую.

Цель создания аксиоматической теории поля – получение таких следствий из системы аксиом, объединяющих фундаментальные представления о физических процессах, которые эмпирически проверяемы. Определенные результаты уже получены. Так, на этой основе построена *CPT*-теорема, получен строгий математический вывод связи спина частицы со статистикой, доказаны дисперсионные соотношения, связывающие две экспериментально измеримые характеристики рассеяния частиц (полное эффективное сечение рассеяния и вещественную часть амплитуды рассеяния). В рамках аксиоматической теории поля в дополнение к названным аксиомам предполагается и определение механизма взаимодействия частиц.

Специфика аксиоматической теории поля применительно к проводимому исследованию заключается в том, что эта теория существенным образом подтверждает конструктивную роль метафизических предположений, когда конкретно проинтерпретированные общие первичные (исходные) понятия (в данном случае – понятие причинности) входят в структуру теории и определяют методологию исследования в рамках данной теории. Иными словами, метафизические представле-

ния входят в конкретную научную теорию в форме своих специально-научных утверждений и понятий, хорошо поддающихся формализации, но требующих эмпирическое наполнение и подтверждение. Сравнение приведенных выше примеров аксиоматических систем показывает, что степень «явности» вхождения метафизических предпосылок определяется степенью общности (но не фундаментальности) физической теории, особенно если она имеет основания претендовать на ведущую методологическую роль в рамках данного конкретного этапа физического познания. И в данном случае необходимо соблюдать особую меру вхождения этих предпосылок в научную теорию в качестве ее конструктивного элемента, имеющего методологическую значимость, чтобы, с одной стороны, не спровоцировать примитивную натурфилософию, а с другой – не гальванизовать метафизику типа механицизма. Применительно к рассматриваемой нами проблеме аксиоматизации физики эта мера в известной степени определяется общефизическими предпосылками аксиоматики. Они включают в себя совокупность понятий и принципов, которые имеют общефизический смысл, граничащий с метафизическим. Эти понятия могут быть описаны с помощью и на основе физической картины мира, в рамках которой создается аксиоматическая система.

Кроме общефизических, необходимо указать и *частнофизические предпосылки* аксиоматики, которые связаны с уже существующей частной физической теорией, изложенной по меньшей мере феноменологическим образом.

Имеющиеся относительно удачные примеры аксиоматики в физике, как правило, относятся к частным физическим теориям. Попытки создания более общих аксиоматик, объединяющих классы теорий, далеко не всегда успешны, и именно потому, что не учитывают все названные выше предпосылки создания этих аксиоматик, и создаются, кроме того, обычно «постфактум». Создание же единой аксиоматики, охватывающей всю физику в целом, видимо, невозможно из-за бесконечного разнообразия физических явлений, требующих для описания специфического аппарата, характерного для каждого класса явлений. И это несмотря на то, что существуют основополагающие физические законы, такие как, например, законы сохранения или экстремальные принципы. Однако попытки создания общих аксиоматических систем в физике необходимо продолжать, так как они имеют большое эпистемологическое и методологическое значение, если представлять их не как нечто окончательное, а как определенный этап раз-

вития физического знания, что, как мы увидим далее, показывает история концепций великого объединения и суперструнных подходов, представляющим проблематику пространства в новом свете.

Очевидно, что аксиомы обычно выбираются так, чтобы соответствовать теории, которая уже понимается достаточно ясно и которая, как казалось бы, не изменится от введения аксиоматики. Однако когда возникает проблема выбора теории из альтернативных теорий, когда необходимо понять, в чем согласны и в чем расходятся они, необходима именно аксиоматика, представляющая собой соответствующую методологическую базу для решения этих проблем. Можно сказать, что аксиоматика вызывает «интеллектуальное возбуждение», когда серьезно обдумывается создание новых теорий путем изменения аксиом – новых теорий, имеющих физическое значение. Именно манипулирование аксиомами (замена одних аксиом другими и т.п.) на базе названных выше предпосылок аксиоматизации физических теорий позволяет получать новые аксиоматики и, как следствие, новые физические теории, выделять общее, характерное для различных теорий. Но в таком случае необходимо рассматривать аксиоматику как развивающуюся систему, источник нового физического знания, несмотря на некоторую ограниченность ее применения. Этими определяются методологический и эпистемологический статусы аксиоматики с метафизическими основаниями в физических науках.

Однако ведущую роль в создании аксиоматики играет физическая картина мира с ключевыми для понимания последней представлениями о материи, пространстве, времени и движении, предоставляющая для этого теоретический и эмпирический материал и методологическую базу. Тем самым выяснение смысла понятия «физическая картина мира» в контексте ее метафизических оснований и анализ структуры физической картины мира на различных этапах ее исторического развития имеют для проводимого здесь исследования определенное методологическое значение. Решение этих вопросов позволит, на наш взгляд, по-новому подойти к проблеме влияния метафизики на физику в общем и на развитие представлений о пространстве в частности, показать, как те или иные метафизические представления конкретизируются в физическом взгляде на мир. Интересна также появляющаяся при этом возможность рассмотрения под новым углом зрения взаимосвязи, взаимозависимости и взаимодействия различных физических теорий, принципов и понятий в исследовании проблематики пространства.

Однако выяснение смысла понятия «физическая картина мира» и анализ структуры физической картины мира, выявление метафизических оснований и такого класса физических понятий, принципов, теорий, гипотез, методологических и логических моментов, которые ответственны за структуру и содержание физической картины мира, сопряжены с известными трудностями, что обусловило существование различных, порой противоположных, подходов и, к сожалению, полное отсутствие исследований этой проблематики в последние два десятилетия.

Так, например, Г.Я. Мякишев считает, что основными элементами физической картины мира являются представления о строении вещества, о взаимодействии материальных объектов и об уравнениях движения этих объектов. По мере развития физики центр тяжести представлений о единстве мира непрерывно перемещается (от уравнений движения механики, понятия силы, строения вещества к сведению в одну схему всех фундаментальных положений физики: уравнениям движения, законам взаимодействия, представлениям о строении вещества).

М.В. Мостепаненко, анализируя понятие физической картины мира в связи с проблемой генезиса физических теорий, делает вывод, с которым мы более склонны соглашаться, чем с предыдущим, что структуру картины мира составляют конкретизированные представления о материи и движении, пространстве и времени, взаимодействии, которые мы определяем как метафизические, зафиксированные аксиоматическим способом, а также эмпирический материал.

Согласно С.Г. Мелюхину, физическая картина мира представляет собой комплекс теоретических моделей, концепций, имеющих мировоззренческое и методологическое значение и выходящих за рамки экспериментальных возможностей науки на данном этапе ее развития.

Под влиянием революционных изменений, которые произошли в физике после создания релятивистской теории и квантовой механики и привели к ломке старых, сложившихся картин мира (механической и электродинамической), большинство философов пришли к отрицанию возможности построения картины мира. Это особенно характерно для позитивистов того времени. Так, М. Шлик, анализируя границы картины мира, пришел к выводу, что в силу невозможности применения в современной физике наглядных образов, функция науки состоит не в построении картины внешнего мира, а в отражении его логической структуры. Ф. Франк считает по-

нятие картины мира ненаучным и призывает к построению логической схемы мира.

Между тем многие ученые-физики склонны считать, что построение физической картины мира возможно и необходимо. Однако по поводу понимания физической картины мира и ее структуры у них также нет единого мнения. М. Планк, например, прямо утверждает, что построение картины мира, отражающей реальные, не зависящие от нас явления природы, возможно. Л. де Бройль рассматривает эволюцию в физике как переход от одной физической картины мира к другой. М. Борн придерживается мнения, что физическая картина мира есть отражение законов природы, и на каждом этапе развития науки построение теорий и оценка новых концепций осуществляются в рамках стиля мышления, который характерен для той или иной картины мира. А. Эйнштейн понимает под физической картиной мира систему фундаментальных принципов, которые позволяют связывать воедино опытные данные, и считает, что сама картина мира определяет характер и направление научных исследований.

Как видим, проблема выяснения смысла понятия «физическая картина мира» и выявления структуры картины мира актуальна, и мы пока далеки от ее окончательного решения. У разных авторов в качестве элементов физической картины мира выступают и общенаучные принципы и понятия, и фундаментальные теории, и методологические принципы и требования, и эмпирические данные, и гипотезы, и отдельные теории и т.д. Отсутствие фундаментального анализа взаимосвязи, взаимозависимости и роли этих элементов в физической картине мира не позволяет дать удовлетворительного решения указанной проблемы. Не ставя перед собой задачу детального исследования этого вопроса, мы попытаемся наметить некоторые возможные, на наш взгляд, пути преодоления возникших трудностей в выделении структуры физической картины.

Очевидно, для выявления структуры физической картины мира необходимо соотнести эту картину мира как с изучаемой физикой действительностью, так и с процессом познания ее. Для этого целесообразно опираться на выделение двух уровней познания, характерных для физики – эмпирический и теоретический.

На эмпирическом уровне происходит выяснение взаимоотношений между данными опытного, экспериментального изучения явлений или связей между несколькими явлениями одной группы. Результат формулируется в виде эмпирического закона (например, за-

кон падения Галилея, газовые законы, закон Ома и др.). Имеется непосредственная возможность соотнесения эмпирического закона с действительностью, что позволяет установить его достоверность. Поскольку эмпирические законы, формулируемые в терминах наблюдения, которые отражают отдельный момент, отдельного явления или весьма ограниченной группы явлений, относятся только к конкретной группе явлений, постольку эти законы не выступают элементами структуры физической картины мира.

Совокупность эмпирических терминов, эмпирических законов и соответствующий математический аппарат составляют эмпирическую теорию. Эмпирические теории относятся к различным группам явлений и не связаны между собой на эмпирическом уровне. Эта связь наблюдается лишь на теоретическом уровне, на котором формулируются более общие представления. Кроме того, эмпирические теории, как правило, дают знание о явлениях, но не о сущностях, и связаны с ограниченными чувственными восприятиями. В силу этого эмпирические теории, на наш взгляд, также не способствуют возникновению единого представления о природе, выступают лишь фрагментами его, и поэтому не могут быть элементами структуры физической картины мира.

Сложнее обстоит дело с теоретическим уровнем физического познания. Здесь происходит объединение узких групп явлений в более широкие классы и строятся теории этих классов явлений, представляющие собой системы понятий и математических соотношений между физическими величинами. В теории выясняются взаимосвязи между группами явлений данного класса. Эти взаимосвязи отражаются в теоретических законах, которые формулируются в теоретических понятиях, относящихся к широкому классу явлений (например, в поднятиях массы, энергии и т.п.).

На теоретическом уровне познания можно выделить четыре подуровня, характеризующихся разной степенью общности и разным вхождением эмпирических и теоретических терминов. Первый подуровень можно назвать переходным. Его составляют полуэмпирические законы, которые формулируются в эмпирических теоретических терминах. По охвату явлений они шире, чем эмпирические законы, но ближе к опыту, эксперименту, чем теоретические, хотя непосредственно опытом и не проверяются. Примером таких законов могут служить второй закон Ньютона и объединенный газовый закон.

Ко второму подуровню можно отнести теоретические понятия и законы классов явлений, которые формулируются только в теоретических терминах (например, законы Максвелла).

Третий подуровень – это подуровень общефизических принципов и законов типа законов сохранения, которые одновременно выступают и как принципы запрета.

Четвертый подуровень объединяет фундаментальные физические теории, причем любая такая теория выступает как система теоретических принципов, законов и их математических выражений и в значительной степени опирается на метафизические основания. При этом с помощью математического языка и соответствующей эмпирической интерпретации последних в физике можно совершить переход к эмпирическим физическим величинам и делать эмпирически проверяемые предсказания о будущем поведении системы, примером чему служат, например, теории относительности и квантовая механика.

Первый подуровень не может служить элементом разработанной и сложившейся физической картины мира, так как он охватывает довольно ограниченный круг явлений и вполне может быть обобщен на чисто теоретических уровнях. Однако следует заметить, что в процессе формирования физической картины мира полуэмпирические законы играют важную роль. Например, механическая картина мира формировалась на основе механики Ньютона, в которой полуэмпирический закон движения имеет фундаментальное значение. Но уже в развитой механической картине мира механика Ньютона была заменена механикой аналитической, имеющей более общий и абстрактный характер. И именно аналитико-механические представления и соответствующие им методологические требования и стиль мышления господствовали на протяжении почти двух столетий, до возникновения электродинамической картины мира, становление которой также началось с полуэмпирических представлений.

Что касается второго, третьего и четвертого подуровней, то степень их общности достаточна для создания, картины мира, для формирования единого представления о природе.

Итак, физическая картина мира – это идеальная модель природы, включающая в себя метафизические основания и выступающая как определенный итог исторического развития физики на том или ином его этапе и функционирующая на теоретическом уровне познания. Она строится на теориях, господствующих в данный период развития физики.

Эти теории формируют определенный стиль мышления и методологические требования подходов к изучению природы. Существенное значение имеют и философские представления, поскольку они определяют мнение исследователей об отношении физической картины-мира к объективной природе, определяют методы и пути обобщения теорий и т.д. Структура физической картины мира представляет собой специфическое отражение структуры природы в рамках господствующих теорий и структуры научного знания. Природа в физической картине мира отражается в виде системы теоретических понятий, принципов и законов, опирающихся на аксиоматическую базу. В свою очередь, сами аксиомы опираются на систему понятий, кажущихся элементарными, очевидными, далее не определяемыми, в итоге – метафизическими. Это прежде всего понятия (с кажущейся их очевидностью) пространства, времени, движения, материи. Но именно из этих понятий и аксиом, попыток их интерпретации по определенным правилам строятся теории. В свою очередь, физические теории, на которых строится физическая картина мира, определяют и методологическую схему анализа природы. С появлением новых эмпирических и теоретических данных, противоречащих сложившейся картине мира, и сменой методологических требований после длительной борьбы происходит смена физической картины мира.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Основания концепций множественных Вселенных: лоскутная мультивселенная и инфляционный сценарий

Представление о существовании множественных вселенных (параллельных миров, мультиверса) является научной гипотезой, согласно которой возможно существование других вселенных помимо нашей. Подобные гипотезы были выдвинуты независимо в рамках нескольких различных научных концепций (многомировая интерпретация квантовой механики, гипотеза лоскутной мультивселенной, выдвинутая в рамках теории относительности, инфляционная космология, ряд подходов к мультивселенной, формулированных в рамках теории струн, голографическая вселенная и т.д.).

Причиной выдвижения подобных гипотез является невозможность разрешить концептуальные трудности научных теорий. Например, в квантовой механике процедура измерения, сопровождающаяся коллапсом волновой функции, приводит к неопределенности. Многомировая интерпретация позволяет рассматривать процедуру измерения детерминистически, понимая неопределенность как неполноту теории.

Другим существенным затруднением современной физики является проблема свободных параметров. Это открытая физическая проблема суть которой состоит в том, что некоторые экспериментально измеряемые параметры, такие как значения констант взаимодействия, заряд электрона и массы элементарных частиц, не детерминируются теорией, а определяются экспериментально. Кроме того, значения параметров требуют очень тонкой подстройки. Небольшая вариация значений параметров фундаментальных постоянных делает невозможным существование Вселенной в ее нынешнем виде. Так «увеличение массы электрона втрое привело бы к коллапсу атома водорода», «если бы константа сильного взаимодействия α_s была всего на 40% меньше, то такая слабосвязанная система, как дейтрон, не смогла бы быть стабильной».

Для объяснения тонкой подстройки параметров Вселенной ученые были вынуждены принять ненаучный принцип целесообразности, который может означать одну из трех альтернатив. Первая точка зрения принадлежит П. Дираку: константы эволюционируют со временем, мы живем в эпоху, когда значения свободных параметров благоприятны для существования сложных структур. Эта гипотеза стимулировала проведения ряда измерений, которые, однако, дают противоречивые результаты. Астрофизические измерения указывают на переменность постоянной тонкой структуры на космологических масштабах времени. Изучения порядка 150 квазаров, некоторые из которых находятся на расстоянии порядка 11 млрд световых лет, что соответствует четверти возраста Вселенной, дали оценку отношения изменений постоянной тонкой структуры порядка 10^{-15} в год.

Экспериментальные исследования показали, что эволюция значений открытых параметров была крайне незначительной. «Возможная переменность этих констант на уровне 10^{-14} в год исключается квантово-оптическим экспериментом. Приведенный выше результат согласуется с постоянным во времени масштабом Λ_e , но допускает его переменность на уровне 10^{-15} в год... Возможная переменность во времени фундаментальных констант должна быть довольно медленной. Это относится по крайней мере к тем физическим константам, которые можно измерить с высокой точностью – к постоянной тонкой структуры, к масштабу КХД Λ_e и массе электрона. Стабильность гравитационной постоянной G известна с точностью 10^{-14} в год... Современные пределы на относительную переменность постоянной тонкой структуры, масштаб КХД и массу электрона составляют порядка 10^{-15} в год».

Однако, возможно скорость изменения открытых параметров изменялась со временем и в начальные периоды эволюции Вселенной темп изменений констант был выше. В настоящее время теории, описывающей скорость эволюции констант во времени не существует, хотя такая теория могла бы дать информацию о начальном периоде эволюции Вселенной. «Физики изучают законы окружающего мира, однако меньше внимания уделяют анализу граничных условий Вселенной, которые непосредственно относятся к эпохе Большого взрыва. В настоящее время мы не знаем, какую роль играют фундаментальные константы, однако они могли бы быть мостиком между первоначальными граничными условиями и локальными законами природы. Возможно их значения являются случайными реликтами Большого взрыва. Некоторые физики полагают, что по крайней мере часть фундамен-

тальных констант являются просто космически случайными числами, значения которых фиксируются деталями динамики большого взрыва. Очевидно, в этом случае вычислить значения фундаментальных констант нельзя».

Другой альтернативой решения проблемы свободных параметров, следующей из принципа целесообразности, является гипотеза множественных вселенных. Согласно этой гипотезе, различные вселенные отвечают своим значениям параметров. «Остается единственная возможность интерпретации неустойчивости структуры Метагалактики относительно значений фундаментальных постоянных – допустить в соответствии с хаотическим сценарием инфляционной космологии множественность метагалактик со своими фундаментальными постоянными. Сложность структуры Метагалактики сама отобрала среди множества возможностей те значения, которые обеспечили бы ее возникновение».

Таким образом, современная ситуация в науке стимулирует разработку различных моделей множественных вселенных. «Развитие современной науки привело к тому, что сейчас перед нами поставлена проблема множественности моделей Вселенной и множественности вселенных, проблема выбора из множества гипотез и внутренне логически непротиворечивых теорий о строении мира такой, которая наиболее полно соответствует эмпирическим данным и сложившейся познавательной ситуации».

Целью статьи является философско-методологический анализ оснований различных подходов к концепциям множественных вселенных. Выявляются концептуальные основания и основные теоретические идеи, а также рассматриваются эмпирические основания космологических концепций, их опытная подтверждаемость и предсказательная сила. Благодаря развитию технологии астрофизика получила невиданные доселе возможности. Наблюдения ведутся во всех диапазонах радиоволн и дают уникальную возможность заглянуть в прошлое Вселенной. Но каждое наблюдение получает многослойную теоретическую интерпретацию, а теоретические подходы не согласованы в своих основаниях, что приводит к парадоксам и затруднениям. Попытки преодолеть возникшие теоретические трудности стимулируют научный поиск и вместе с тем ведут к смене научных идеалов и норм описания, доказательности, объяснения, ценностных установок.

Приблизительно можно классифицировать существующие подходы на разработанные на основе великого объединения и выдвинутые

на других основаниях. Первая группа подходов к множественным вселенным имеет в качестве концептуальных основ теорию относительности и квантовые теории, вторая группа подходов – теорию струн и голографический принцип. В данной статье рассмотрим подходы к описанию мультивселенной на основе великого объединения.

Лоскутная мультивселенная

Расширение пространства математически выведенное А. Фридманом экспериментально установлено Э. Хабблом в 1929 г. по красному смещению галактик. Модели Фридмана предсказывали, что расширение Вселенной будет осуществляться либо равномерно, либо с замедлением. Однако в 1998 г. было открыто ускоренное расширение Вселенной, действие которой предписывают некой диффузной энергии, наполняющей пространство. Следовательно, Вселенная расширялась и будет продолжать ускоренно расширяться. Наблюдения не дают однозначного ответа на вопрос конечна или бесконечна наша Вселенная. Если вселенная бесконечна, ее большая часть находится за пределами видимого горизонта. Если принять возраст Вселенной примерно равным 13,7 млрд. лет, то область наблюдательной Вселенной будет составлять 13,7 млрд. световых лет плюс область, увеличивающаяся за счет расширения пространства. Поэтому «максимальное расстояние, на которое мы можем заглянуть, на самом деле больше – примерно 41 миллиард световых лет». Области вселенной, находящиеся дальше оказываются недоступными нашим наблюдениям, так как находятся за пределами нашего космического горизонта. Принимая однородность Вселенной, аналогичные предположения можно сделать и для тех областей пространства, которые удалены от нас на достаточно большое расстояние. Достаточно удаленные космические горизонты достаточно далеко отстоят друг от друга, чтобы взаимодействовать друг с другом, поэтому могут развиваться независимым образом. Если применить двумерную аналогию, такие удаленные области образно можно представить как лоскуты на одеяле. Если пространство имеет конечный размер, то и число независимых лоскутов будет конечным, в бесконечном пространстве возможно бесконечное количество вселенных.

Поскольку число комбинаций конфигураций частиц, заполняющих пространство, конечно, в бесконечной вселенной должны найтись в точности идентичные лоскутки, образующие двойников. Если при-

менить редукционистский подход, согласно которому все физические и ментальные характеристики определяются расположением частиц и полей, то в глубинах космоса существует бесконечное количество наших двойников. Согласно редукционизму, все физические копии будут тождественны также и ментально.

С нашей точки зрения, возможность существования в бесконечной вселенной наших полных двойников на основе структурного сходства не учитывает, однако, квантовой неопределенности. Последняя проявляется в процессе функционирования сложных систем. В случае двойников, обладающего сознанием, нельзя гарантировать что процессы, протекающие в его психике, будут идентичны друг другу, даже если на молекулярном уровне структурное строение абсолютно идентично. Дело в том, что мышление осуществляется посредством передачи нервных импульсов, а «передача импульса в нервной системе опосредуется изменениями мембранного потенциала». Изменения мембранных потенциалов вызваны движением через клеточные мембраны ионов, перемещающихся через ионные каналы. «Ионные каналы представляют собой встроенные в мембрану молекулы белка, которые образуют поры, проницаемые для ионов. Ионные токи регулируются через открытие и закрытие этих ионных каналов». Белковые молекулы не являются статическими структурами, химические связи постоянно колеблются относительно устойчивого состояния, что приводит к изменениям структуры молекул. Такие изменения «раз возникнув, могут длиться многие миллисекунды или даже секунды». Ионы могут проходить через канал только когда последний находится в открытом состоянии, но время открытого состояния «варьирует случайным образом». Это значит, что передача нервных импульсов зависит от неопределенности микромира, а значит функционирования структурно идентичных систем будет уникальным.

Тем не менее, если принять универсальность физики в лоскутной мультивселенной, то строение областей пространства, находящихся за пределами космического горизонта, должно быть идентично наблюдаемому в нашей области: «Следует думать, что количественные характеристики звезд и галактик должны определяться параметрами элементарных частиц, то есть в конечном счете, мировыми постоянными». Данный подход не позволяет решить проблему свободных параметров, но он продуктивен для прогнозирования возможной структуры удаленных миров.

Так если звезды в нашей Вселенной являются преимущественным способом существования светящейся барионной материи, они должны представлять собой энергетически выгодное состояние. Выгодным является положение теплового равновесия, а поскольку вещество в звездах ионизировано и подчиняется принципу Паули, его поведение определяется статистикой Ферми. Давление Ферми газа настолько велико, что полное давление в плазме почти целиком определяется парциальным давлением электронов и практически не зависит от температуры, которая должна быть лишь ниже некоторой «температуры вырождения». Теория внутреннего строения звезд Чандрасекара предсказывает, что только звезды массой меньше 5,75 масс Солнца могут находиться в состоянии равновесия. В более тяжелых звездах идут термоядерные реакции, источники термоядерной энергии должны со временем исчерпываться и звезды тяжелее 100 масс солнца будут короткоживущими (порядка 1 млн. лет). Верхний предел звездной массы определяется значением одной из фундаментальных постоянных – массой протона. Если бы не давление электронного газа, звезды могли бы сжиматься до гораздо больших плотностей. Теория внутреннего строения звезд позволяет описать радиус звездной конфигурации через фундаментальные постоянные и предсказывает, что структура удаленных частей вселенной, в целом, окажется идентичной видимой части нашей Вселенной.

Таким образом, лоскутная мультивселенная развивается на основе общей теории относительности и квантовой механики. В отсутствие обоснованных космологических гипотез структуры удаленной части пространства и механизма ускоренного расширения используются теории современной физики, что ведет к переносу методологических принципов из физики в космологию. В последней также используется основной космологический постулат: вселенная на больших масштабах является однородной и изотропной. Следовательно, каждая лоскутная мультивселенная будет иметь ту же физику, что и наша. «Если мир состоит из элементарных частиц, то их свойства должны определять явления и закономерности астрономических объектов... Состав звезд и планет, строение звездных атмосфер, туманностей, проблемы межзвездного вещества. Информация о вселенной приходит к нам в виде потока элементарных частиц фотонов, нейтрино, частиц высокой энергии (протоны, электроны, ионы), возникающими в радиотуманностях и радиогалактиках».

Однако, предположение о тождественности физических законов за пределами нашего горизонта не предлагает решения проблемы откры-

тых параметров. Экспериментальные наблюдения не детерминируют выбор альтернативы конечного или бесконечного пространства. Также невозможно экспериментально установить наличие или отсутствие других вселенных за пределами космического горизонта. В целом для данного класса теорий характерно следование «бритве Оккама»: объяснить как можно большую совокупность астрофизических явлений на основе фундаментальных законов современной квантово-релятивистской физики, экстраполировать эти законы как можно дальше, в идеале – на все явления и процессы космической эволюции, от ее начального момента – сингулярности вплоть до самого отдаленного будущего.

Следует также отметить, что для данного вида расширения космологических теорий в область мультивселенной характерны механизмы и стремление к экстраполяции, свойственные механистической картине мира в целом.

Инфляционная мультивселенная

Из моделей Фридмана и гипотезы большого взрыва можно было сделать выводы о предполагаемых размерах вселенной. Но видимый вселенной значительно превосходил теоретически предсказанный моделями Фридмана. Для объяснения этого факта было сделано предположение об экспоненциальном расширении вселенной, имевшим место на ранних этапах ее эволюции. Согласно квантово-механическому подходу для объяснения механизма экспоненциального расширения пространства постулируется гипотетическое поле инфлатона, заполняющее пространство потенциальной энергией. Это поле создает отрицательное давление: «Гут подставил в уравнения Эйнштейна предполагаемые значения энергии инфлатона и давления, согласованные с экстремальными условиями ранней Вселенной, ...вычисления показали, что возникающее гравитационное отталкивание должно быть колоссальным. Оно на несколько порядков сильнее, чем гравитационное отталкивание, рассмотренное Эйнштейном».

Потенциальная энергия поля инфлатона высвобождается в результате квантовых флуктуаций, что приводит к короткому (порядка 10^{-35} сек) и быстрому расширению, в ходе которого пространство увеличивается в 10^{30} раз, после чего энергия преобразуется в частицы. Отсюда следует, что область пространства, породившая наблюдаемую часть

вселенной, была достаточно мала, чтобы в ней могла установиться одинаковая температура. Это подтверждается высокой степенью однородности реликтового излучения.

В 1980-х годах инфляционный подход получил продолжение в область подходов к мультивселенной и получил название «новый сценарий». Основной проблемой теоретической космологии является объяснение появления из начального гомогенного состояния видимых неоднородностей и образования крупномасштабных структур. Первая версия нового сценария инфляционной модели основана на изучении фазового перехода с нарушением симметрии $SU(5) \rightarrow SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Но новый сценарий расширяющейся вселенной не может полностью реализоваться в $SU(5)$ теории, потому что скалярное поле взаимодействует с частицами очень слабо. Для начала инфляции нужно было получить небольшую область неоднородностей в состоянии термодинамического равновесия ранней вселенной, но долгое время не существовало реалистичного сценария из-за того, что частицы поля инфлантона взаимодействовали друг с другом и с другими полями очень слабо.

«Переход из сверхохлажденной фазы исходного «ложного вакуума» в фазу «истинного вакуума» с более низкой энергией не может происходить повсеместно одновременно; это происходит местами, в маленьких пузырьках истинного вакуума, которые быстро расширяются и становятся фоном для ложного вакуума, в котором скалярные поля будут по-прежнему находиться в локальном минимуме, подобно каплям воды, образующимся в переохлажденном водяном паре. Проблема в том, что скрытая теплота, высвобождаемая при фазовом переходе, сосредоточена на стенках, в то время как внутренность пузырьков остается пустой, поэтому единственное место концентрации энергии, которая впоследствии перейдет в современные составляющие Вселенной, будет в высшей степени неоднородно и анизотропно».

В конце периода инфляции был так называемый период разогрева, в ходе которого энергия поля инфлантона преобразовалась в вещество и энергию, но нет детальных представлений о механизме этого процесса.

Новый сценарий предполагает, что поле инфлантона определено во всех точках пространства. В силу квантовой неопределенности его значение будет испытывать случайные флуктуации, приводящие к разделению пространства на области с различными значениями поля инфлантона. Квантовые флуктуации создавая миниатюрные температурные колебания, растянутые инфляционным расширением, наруша-

ют однородную картину. Небольшие отклонения в энергии инфлантона приводит к изменениям температуры областей пространства примерно на тысячные доли градуса, что наблюдается как неоднородность реликтового излучения. Квантовые флуктуации, изменяя величину энергии, после расширения создают области с различными значениями гравитационного потенциала, создавая основу для дальнейшего формирования крупномасштабных структур.

Квантовые флуктуации стремятся уменьшить области пространства с большой энергией, а инфляционное расширение увеличивает этот объем. Поле инфлантона охлаждается медленнее, чем происходит процесс инфляции. Среди этих двух разнонаправленных процессов инфляционное расширение доминирует над уменьшением, порождая новые области пространства с высоким значением поля инфлантона. Таким образом, инфляция никогда не заканчивается, порождая за счет квантовых флуктуаций все новые и новые области пространства с разными значениями поля инфлантона, которые как пузыри в сыр включены в области высокого значения поля инфлантона.

Миссия нового инфляционного состоит, в частности, в разрешении некоторых проблем стандартного инфляционного сценария, среди которых можно упомянуть следующие:

- проблема сингулярности: решение уравнений формально не может быть продолжено в точку, соответствующую нулевому моменту времени.
- Проблема пространства. Проблема евклидовости – на масштабах порядка планковской длины $l_p \sim 10^{-33}$ см пространство должно быть искривлено. Проблема энтропии: почему в наблюдаемой части вселенной такая высокая энтропия?
- Проблема однородности и изотропности вселенной на больших масштабах.
- Проблема горизонта.
- Проблема существования магнитных монополей.
- Проблемы формирования крупномасштабных структур

Проблема сингулярности может быть разрешена с помощью введения такой фундаментальной постоянной как планковская длина $l_{пл} = 10^{-33}$ см, физический смысл которой состоит в ограничении минимально допустимого размера области. Поскольку базовый размер начальных неоднородностей порядка планковской длины, вселенная на этапе инфляции не может быть описана на языке классического простран-

ва-времени. Большую роль должны играть флуктуации метрики, возникающие в силу квантовой неопределенности. Инфляционный сценарий предлагает новое понимание пространства, рассматривая новый вид вакуума – ложный вакуум, представляющей собой область пространства с высокой энергией.

Проблема однородности и изотропности вселенной на больших масштабах получает решение в рамках инфляционной модели, так как инфляция предполагает расширение микроскопической области пространства в которой установились одинаковые значения температуры и давления. Для наблюдателей, находящихся после расширения в достаточно большой области, пространство будет казаться однородным и изотропным. Проблема горизонта была той проблемой, постановка которой вызвала к жизни появление инфляционных моделей, поскольку видимый размер вселенной превышал теоретически предсказанный моделями Фридмана. В инфляционной модели не только объясняется больший размер вселенной, но также указано на то, что расширение пространства происходило до эпохи рождения фотонов, наблюдаемых сегодня как реликтовое излучение

Существование магнитных монополей теоретически следовало из гипотезы П. Дирака, но экспериментально не было подтверждено. В рамках инфляционной модели эта проблема объясняется тем, что монополи могут возникать только при столкновении стенок пузырей, сформировавшихся в поле инфлантона, так что концентрация магнитных монополей должна быть достаточно низкой: «проблема монополей может быть в принципе также разрешена в рамках предложенного сценария. Первичные монополи производятся только при столкновениях различных пузырей поля ϕ , которые формируются в процессе фазового перехода. Если фазовый переход значительно запаздывает при суперохлаждении, то пузыри станут достаточно большими ко времени начала заполнения их всей вселенной и плотность производимых при данном процессе монополей будет экстремально низкой». Поле инфлантона ϕ быстро стремится к состоянию абсолютного минимума, внутри пузыря вся энергия нестабильного состояния вакуума трансформируется в кинетическую энергию стенок, которые движутся от центра пузыря со скоростью, близкой к скорости света.

Инфляционная модель объясняет механизм формирования крупномасштабных космических структур, таких как галактические скопления. Считается, что все объекты во вселенной сформировались из ничтожно малых квантовых флуктуаций, имевших место в начальный

период развития вселенной, которые были увеличены до космологических масштабов в ходе инфляционного расширения. Крупномасштабные неоднородности образуются в местах скопления темной материи, структура распространения которой была сформирована благодаря акустическим волнам начальной плазмы.

Некоторые модели инфляции ведут к бесконечному рождению раздувающихся пузырьков, порождая мультивселенные, такие модели описывают хаотический сценарий инфляционной модели. Так А.Д. Линде предложил модель хаотического сценария мультивселенной, предполагая, что начальные значения поля потенциала инфлантона в разных областях пространства случайным образом зависят от времени. Местами могут возникнуть области, потенциал которых удовлетворяет условиям медленного скатывания. Такая область начнет экспоненциально расширяться. Внутри расширяющейся области квантовые флуктуации создадут области с еще большим значением поля инфлантона, так что «в этих участках начнется ранняя стадия инфляции. Таким образом, хаотическая инфляция также оказывается еще и вечной». А.Н. Павленко выделяет следующие основные положения хаотического сценария:

«1. Хаотический сценарий предполагает, что скалярное поле, наполняющее пространство распределено хаотически, в котором плотность энергии вакуума определяется лишь с точностью до планковского ограничения, в силу квантово-механического принципа неопределенности.

2. Скалярное поле в хаотическом сценарии способно порождать новые области, заполненные этим же полем. Это приводит к трем принципиальным следствиям: а) Вселенная в целом, если справедлив хаотический сценарий, никогда не коллапсирует (не будет смерти Вселенной в целом). б) Вселенная в целом состоит из огромного числа (порядка 10^5) доменов, подобных наблюдаемой нами Вселенной (В них могут существовать наблюдатели подобные нам). в) Вселенная в целом, возможно вообще не имела первоначальной космологической сингулярности (не было общего происхождения Вселенной в целом)».

Класс инфляционных моделей оказывается эффективным инструментом для решения теоретических проблем космологии. Хаотический сценарий решает также и проблемы более ранних инфляционных моделей. Но гипотеза хаотической инфляции не может быть подтверждена астрономическими наблюдениями, но, возможно, косвенным подтверждением могло бы стать выявление поля инфлантона.

Таким образом, выдвигаемые гипотезы имеют эвристический характер и направлены на преодоление затруднений стандартной космологии, такие как проблема сингулярности и проблема свободных параметров, но в целом космология становится более гипотетичной и оторванной от фактов. Следование фактам остается в космологии скорее пожеланием, а не строгим требованием. Открытия новых фактов произошедшие за последние двадцать лет бросают вызов не только космологии, но и физике. «Многие из новых фактов по-прежнему не только не предсказываются существующими теориями, но их объяснение зачастую создает для теоретиков весьма нелегкие «головоломки», отсюда и многовариантность схем объяснения, а иногда даже отсутствие сколько-нибудь обоснованного подхода к поискам такого объяснения». Кроме того, имеет место теоретическая нагруженность наблюдений. «Факты, которыми оперирует космология, загружены многослойной интерпретацией. Космологическая значимость того или иного факта зависит от его места в соответствующей концепции».

Гипотезы множественных вселенных остаются слишком умозрительными, чтобы объяснить полученные данные и давать новые предсказания. В результате требование соответствия космологических теорий с фактами выглядит чрезмерным. Для науки о Вселенной оно заменяется экспертными оценками, однако большинство исследователей считают, что последние не являются надежным эталоном доказательности.

Заключение: философские предпосылки анализа оснований космологических теорий

Космология XX в. использовала ряд исследовательских принципов при проведении исследований. К ним можно отнести следующие:

1) исследование космологического явления или процесса должно опираться на наблюдения, их интерпретации и обобщения на основе известных законов физики и астрономии.

2) исследования в области космологии должны начинаться с постановки конкретных задач, решение которых не требует введения произвольных допущений.

3) подробное изучение элементарных космологических процессов создаст предпосылки для решения более общей задачи – построе-

ния полной обоснованной теории процесса, включающей объяснение его причин.

4) в космологии широкое применение находит метод моделирования. Модели строятся на основе тщательного изучения фактических данных и хорошо проверенных предположений. Ценность модели состоит в способности предсказания новых явлений.

На современном этапе в XXI в. космология представлена широким спектром направлений, ряд из которых не располагают достаточным количеством наблюдательных данных. К последним относится и теоретизирование в области мультивселенных. Поскольку мы не обладаем возможностью наблюдения других вселенных, место эмпирического поиска занимает аппроксимация известных законов и теорий в новую область. Как правило, все концепции мультивселенных возникают при попытках решить теоретические проблемы, неразрешимые в рамках уже существующих теорий.

Соответственно, при построении концепции мультивселенных используются хорошо подтвержденные теоретические положения и установленные эмпирические факты, известные для нашей вселенной. Доминирующим методом исследования становится моделирование, также принимающее наиболее общие принципы, например, космологический постулат.

Соответственно в число исследовательских принципов можно добавить следующие:

5) происходит расширение области применяемых теорий в область, принципиально выходящую за границы возможных наблюдений. Видимая вселенная становится небольшой частью мегавселенной. Теоретическое рассмотрение строится на аппроксимации проверенных теорий в пространственно-временные области, отличающиеся от доступной наблюдениям.

6)

7) широкую популярность приобретает идея вечности вселенной и отсутствие начала как такового. Например, в инфляционных моделях предполагается вечность инфляции, рождение вселенной произошло из микроскопического пузырька ложного вакуума в силу квантовой флуктуации. В струнных теориях и теории петлевой квантовой гравитации Большой взрыв рассматривается как один из этапов эволюции вселенной во времени, начало которого не совпадает с Большим взрывом.

Отметим также смену проблемной области. Если после второй революции в космологии XX века (первая революция – применение к космологии общей теории относительности и моделей Фридмана, вторая – переход к всеволновому изучению неба) проблемы возникали в основном из анализа наблюдательных данных, то на настоящем этапе они часто формулируются как теоретические затруднения. К подобным проблемам относятся проблема свободных параметров, проблема однородности вселенной, проблема начальной сингулярности и др. Космологические наблюдения в XXI в. служат источниками проблем не только для космологии, но и для физики. В числе таких эпохальных открытий следует упомянуть открытия темной энергии и темной материи, открытие ускоренного расширения вселенной, анизотропию реликтового излучения.

Поскольку теоретической основой космологии является физика, первая заимствует у последней стандарты математического описания. В частности, все космологические теории для объяснения причин космологической эволюции используют квантово-полевой подход. Применение данного подхода приводит к теоретическому постулированию гипотетических полей и частиц (гравитон и гравитино, инфлантон и т.д.).

Соответственно обостряется проблема трактовки математического формализма – проблема реализма. Теоретические основания концепций включают абстрактный математический аппарат и его физическую интерпретации. Тем не менее, наши представления о вселенной существенным образом зависят от используемых математических структур, которые весьма различаются от теории к теории. Космолог М. Тегмарк сформулировал эти полярные точки следующим образом: существует гипотеза внешней реальности: существующая внешняя реальность полностью независима от познающего субъекта. Ей противостоит гипотеза математической вселенной: наша внешняя физическая реальность является математической структурой».

С точки зрения первой гипотезы для проверки теории следует прибегать к объективным свидетельствам, которые лишены «багажа» человеческого фактора. В качестве объективных свидетельств принимаются апелляция к принятой в физике онтологии, например, таким терминам как «частица», «излучение» и т.п., либо экспериментальные свидетельства. Но онтология любой научной теории носит метафизический характер, то есть зачастую является спорной и принимается не всеми, а экспериментальные свидетельства оказываются теоретически

и инструментально нагруженными. Таким образом, любая теория имеет математический аппарат и наблюдения, которые осуществляются людьми и содержат интуитивную интерпретацию. В качестве онтологической основы стараются принимать те сущности, которые ранее были введены основополагающей более фундаментальной теорией. Но поскольку применения математического аппарата дает наблюдаемые следствия, есть традиция интерпретировать физические теории реалистически, то есть интерпретировать их как описывающие независимую от наблюдателя реальность.

Конструктивная точка зрения принимает субъективность познавательного процесса, способность субъекта «формировать теоретико-методологическую систему координат, признание методологической природы любой системы отсчета, реализуемой в процессе познания». На наш взгляд понимание конструктивных процессов научного знания претерпело эволюцию в последние десятилетия. Эта эволюция прослеживается в методологическом переходе от противопоставления индуктивных и дедуктивных методов к методам проблемно-конструктивным. Для классического этапа развития физики характерно применение аксиоматических и гипотетико-дедуктивных методов. Например, все указанные направления объединительных тенденций в современной физике реализуются преимущественно на основе использования аксиоматического либо гипотетико-дедуктивного метода. В настоящее время космология развивается скорее методом постановки проблем и конструирования более общих теорий, способных разрешить проблемы, возникшие в более ранних теориях. Прогресс теоретического знания совершается в направлении обобщения, в том числе онтологических оснований, что приводит к росту умозрительности. Примером, иллюстрирующим последний тезис, является тенденция рассматривать наблюдаемую часть вселенной, как часть чего-то более общего, некоей мегагалактики, существование которой не может быть подтверждено прямыми наблюдениями. Тем не менее, введение гипотез, подобным гипотезам о параллельных вселенных обусловлено необходимостью теоретического разрешения экспериментальных и теоретических проблем предшествующей космологии и физики.

БИБЛИОГРАФИЯ

- Аронов Р.А.* Физическая реальность и познание. – М., 2014.
- Аристотель.* Сочинения. В 4 т. (Серия «Философское наследие»). – М., 1975. – 1983.
- Амбарцумян В.А.* Проблемы современной астрономии и физика микромира // Философские проблемы физики элементарных частиц. – М., 1964.
- Асмус В.Ф.* Античная философия. – М., 1998.
- Балашов Ю.В.* Принципы классификации космологических теорий // Вселенная. Астрономия. Философия. – М., 1988.
- Безлепкин Е.А.* Механизмы объединения знания в теориях классической физики // Философия науки. – 2013. – № 3 (58).
- Бодде Д.* Мифы древнего Китая // Мифология древнего мира. Пер. с англ. – М., 1977.
- Брайн Г.* Скрытая реальность: параллельные миры и глубинные законы космоса. – М., 2013.
- Бэкон Ф.* Сочинения. Т. 1–2. – М., 1977–1978.
- Васильев С.* История религий востока. – М., 1983.
- Вайнберг С.* Космология: Пер. с англ. И.Я.Арефьева, В.И.Санюк ред. – М., 2013.
- Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М., 2002.
- Власова С.В.* Многомировая интерпретация квантовой механики и множество миров Н. Гудмена // Российский гуманитарный журнал. – 2012. – Т. 1. – № 1.
- Вихлинин А.А., Кравцов А.В., Маркевич М.Л., Сюняев Р.А., Чуразов Е.М.* Скопления галактик // Успехи физических наук. – 2014. – Т. 184. – № 4.
- Галилей Г.* Избранные труды. – В 2 т. – М., 1964.

- Гейзенберг В.* Введение в единую полевую теорию элементарных структур. М., 1968.
- Грейвз Р.* Мифы Древней Греции. – М., 1992.
- Грин Б.* Элегантная Вселенная. М., 2004.
- Грин Б.* Параллельные миры и глубинные законы космоса. – М., 2013.
- Гусева Н.* Мифы древней Индии. – М., 2002.
- Девис П.* Суперсила. – М., 1989.
- Декарт Р.* Сочинения. – В 2 т. – М., 1989.
- Каку М.* Гиперпространство. М., 2014.
- Казютинский В.В.* Научно-технический прогресс, астрономия, философия // Вселенная. Астрономия. Философия. – М., 1988.
- Казютинский В.В.* Современное состояние космогонической теории // Проблемы современной космогонии. – М., 1972.
- Клейн Ф.* Неевклидова геометрия. – М.;Л., 1936.
- Корухов В.В.* Фундаментальные постоянные в современном познании: теоретико-методологические аспекты. – Новосибирск, 2003.
- Лейбниц Г.В.* Сочинения. – В 4 т. – М., 1982–1989.
- Линде А.Д.* Раздувающаяся Вселенная // Успехи физических наук. – 1984. – Т. 144, вып. 2.
- Лобачевский Н.И.* Геометрические исследования по теории параллельных линий. – М., 1941.
- Лобачевский Н.И.* Об основаниях геометрии. Сборник классических работ по геометрии Лобачевского и развитию ее идей. – М., 1956.
- Лосев А.Ф.* Философия. Мифология. Культура. – М., 1991.
- Льоцци М.* История физики. – М., 1970.
- Максвелл Дж.К.* Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. – М., 1954.
- Медведев В.А.* Субъектная составляющая теоретического познания: тенденции преобразования эпистемологической проблематики // Философия науки. – 2009. – № 1 (40).
- Методологические принципы физики.* – М., 1975.
- Мостепаненко А.М.* Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. – Л.: Наука, 1969.
- Мифы народов мира* / Под ред. Токарева С.А. – М., 1987.
- Мюллер М.* Египетская мифология. – М., 2007.

- Николай Кузанский. Сочинения.* – В 2 т. – М., 1979–1980.
- Николс Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А.* От нейрона к мозгу. – М., 2003.
- Ньютон И.* Математические начала натуральной философии. – М., 1989.
- Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. – М., 1989.
- Позитивизм и наука.* М., 1975.
- Пуанкаре А.* О науке. – М., 1983.
- Рассел Б.* Человеческое познание: его сфера и границы. М., 2000.
- Рожанский И.Д.* Развитие естествознания в эпоху античности. Ранняя греческая наука о природе. – М., 1979.
- Розенталь И.Л.* Элементарные частицы и космология (Метагалактика и Вселенная) // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167. – № 8.
- Спиридонов О.П.* Фундаментальные физические постоянные. – М., 1991.
- Современная космология: философские горизонты.* М., 2011.
- Уиттекер Э.* История теории эфира и электродинамики. М., 2001.
- Фингарет С.* Мифы и легенды древнего Востока. – М., 2002.
- Фрагменты* ранних греческих философов. – Т. 1. – М., 1989.
- Френель О.* Избранные труды по оптике. – М., 1955.
- Фритцих Х.* Фундаментальные физические постоянные // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179. – № 4.
- Фрэйзер Дж.* Золотая ветвь: Исследование магии и религии / Пер. с англ. – М., 2001.
- Хван М.П.* Неистовая Вселенная. – М., 2014.
- Хокинг С.* Кратчайшая история времени. – СПб., 2008.
- Шарыпов О.В.* Понятие фундаментальной длины и методологические проблемы современной физики. – Новосибирск, 1998.
- Шредингер Э.* Пространственно-временная структура Вселенной. М., 1986.
- Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. – В 4 т. – М., 1965–1967.

Энос о Гильгамеше / Вст. статья и комментарии И. М. Дьяконова. – М., 1959.

Everett Hugh. «Relative State» Formulation of Quantum Mechanics // *Reviews of Modern Physics.* – 1957. – Vol. 29.

Kahn C.H. Anaximander and the Origins of Greek Cosmology. — New York, 1960.

Kirk G. S. Myth: Its Meaning and Functions in Ancient and Other Cultures. – Berkeley: Cambridge University Press, 1973.

Linde A. Particle physics and inflationary cosmology. – CRC Press, 1990.

Tegmark M. The Mathematical Universe *Found Phys* (2008) 38: 101–150 p. 102. DOI 10.1007/s10701-007-9186-9.

Tzanavaris P., Webb J.K., Murphy M.T., Flambaum V.V., Curran S.J. Limits on Variations in Fundamental Constants from 21-cm and Ultraviolet Quasar Absorption Lines // *Physical Review Letters.* – 2005. -Vol. 95, Issue 4.

Webb K., Murphy M.T., Flambaum V.V., Dzuba V.A., Barrow J.D., Churchill C.W., Prochaska J.X., and Wolfe A.M. Further Evidence for Cosmological Evolution of the Fine Structure Constant // *Phys. Rev. Lett.* 87, 091301 (2001).

Научное издание

А.Л.Симанов, А.Ю. Сторожук

Историко-философские проблемы
представлений о пространстве

Оператор электронной верстки Г.Я.Симанова

Подписано в печать 25.12.2014.
Гарнитура Таймс.
Тираж 200 экз.

Формат 60×90¹/₁₆.
Усл. печ. л. 14.
Заказ № .

Офсетная печать.
Уч.-изд. л. 14,2.

Оригинал-макет изготовлен на настольной издательской системе.