

Российская Академия Наук
Институт философии

**ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
КЛАССИЧЕСКОЙ И НЕКЛАССИЧЕСКОЙ
ФИЗИКИ: СОВРЕМЕННАЯ
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**

Москва
1998

Ответственный редактор
доктор филос. наук *С.В.Илларионов*
доктор филос. наук *Е.А.Мамчур*

Рецензенты:
доктор филос. наук *Б.Я.Пахомов*
доктор филос. наук *М.А.Розов*

Ф-56 **Философские** проблемы классической и
неклассической физики: современная
интерпретация. — М., 1998. 179 с.

Книга является сборником статей, объединенных единым сюжетом: философско-методологический анализ дискуссионных проблем физического знания. Рассматривается вопрос о статусе принципа причинности в современной космологии; роль культурно-философских факторов в становлении полевой идеологии; проблема онтологического статуса фундаментальных понятий физики микромира. Предпринимаются поиски философских оснований синтеза современного физического знания; анализируется состояние физики высоких энергий.

*Посвящается памяти
Юрия Борисовича Молчанова*

Предисловие

Название книги говорит само за себя: в представленных в ней работах анализируются философские вопросы классической и неклассической физики в свете той интеллектуальной ситуации, которая сложилась в настоящее время в современной науке и философии.

В наше время — время повального увлечения теософией, паранаукой и ничем не подкрепленными идеями «космического разума», анализируемые в книге вопросы могут показаться кое-кому слишком научными, сложными и даже скучными. И действительно, представленные в книге материалы не предназначены для легкого чтения. Их усвоение требует усилий ума. Однако авторы, составители и редакторы книги убеждены в том, что в нашей стране есть серьезные читатели, глубоко заинтересованные в такой литературе. Им мы и адресуем настоящую монографию.

Мы посвящаем свою книгу светлой памяти нашего коллеги, 27 лет проработавшего в Секторе философии естествознания Института философии РАН, доктора философских наук, профессора Юрия Борисовича Молчанова. Он был одним из ревнителей рационального начала в философии, отстаивая и развивая научный подход к исследованию категорий бытия и познания.

Современная физика: динамика последних десятилетий

Введение

Разделяемый большинством естествоиспытателей негативизм М.Борна¹ по поводу философских гносеологических указателей для науки позволяет понять их критическое отношение к примитивным, с современной точки зрения, натурфилософским учениям, включая сюда наивный атомизм Демокрита и односторонний подход Платона к воздействию человеческих идей (в частности, законов гармонии) на структуру и свойства реального мира. Но не менее трудно согласиться и с позицией нашего современника, известного физика-теоретика Э.Шредингера, который, ссылаясь на отсутствие прямой и пока не познанной связи внешних воздействий с психическими процессами в человеческом мозге, пытался обосновать² чисто позитивистскую позицию в вопросе о физической реальности.

Все это (и многое другое) позволяет нам воздать должное декартову принципу скептицизма — одной из характерных черт научного познания мира как развивающегося во времени процесса.

Вспоминая мучительные раздумья корифеев физики XX века Н.Бора, А.Эйнштейна, В.Гейзенберга в период кардинальной перестройки всего здания своей науки, мы приходим к выводу, что философия может и должна ставить извечные, коренные проблемы познания, но отнюдь не обязана давать им окончательные решения в духе абсолютной истины, провозглашенной диалектическим материализмом.

В данной статье автор попытается рассмотреть, в какой мере может современная физика использовать наследие крупнейших представителей рационализма XVII века (в частности,

Ф.Бэкона, Р.Декарта, Б.Спинозы и Г.В.Лейбница) и насколько оправдываются для нее те положения диалектического материализма XX века, которые диамат склонен был трактовать как исчерпывающий перечень наиболее общих и пригодных на все времена законов развития природы, человеческого общества и человеческого знания.

1. Информация и методы познания

В свете современных представлений об информации можно, вслед за В.И.Корогодиным³, классифицировать типы информации на логическую, образную, в частности поведенческую, и генетическую с характерными для каждого из них носителями в виде двух полушарий мозга и молекул ДНК. Это позволяет нам трактовать процесс научного познания через органы чувств к человеческому мозгу как непрерывно расширяющийся приток информации, накапливаемой за счет как индивидуальной, так и коллективной памяти научного сообщества, систематизируемой на логической основе и являющейся материалом для моделирования тех или иных сторон (аспектов) картины внешнего и внутреннего мира человека. Уже в этом плане научное познание отличается, во-первых, созданием и проверкой критериев своей достоверности (т.е. адекватности с реальностью) и, во-вторых, творческим началом, которое недооценивал ортодоксальный диалектический материализм с его теорией отражения. Впрочем, ограниченность теории простого отражения понимал еще В.И.Ленин, бегло отмечавший⁴, что сознание не просто отражает мир, но в значительной мере творит его (как бы заново).

Говоря о научном познании мира, нельзя не признать и возможность другого пути, если не познания, то по крайней мере “постижения” мира: по мнению Ю.А.Урманцева⁵ нельзя недооценивать роли восточной методики медиативного, самозерцательного постижения истины с ее особой “технологией” самоизоляции от внешнего мира. На деле же, как и в случае подробно рассмотренного Е.Л.Фейнбергом⁶ понятия интуиции, речь идет об особых, внелогических методах переработки накопленной ранее человеческим сознанием информации и прежде всего целостно-образного характера.

Хотелось бы еще отметить, что именно характерная для живых организмов способность моделирования окружающего мира в его статике и динамике позволяет заполнить ту, на первый взгляд, непроходимую пропасть между каузальностью и телеологией (отвечающими на вопросы “почему” и “зачем”), перед которой остановился в свое время декартов дуализм души и тела и который попытался преодолеть уже Спиноза с его учением о “*causa sui*” — природе как единственном первоисточнике всего сущего.

2. Физика частиц и полей при высоких энергиях: уроки и перспективы

Вся эта область современной физики возникла из мало-значительного, на первый взгляд, явления космических лучей. Восходящий еще к Бэкону принцип наблюдения как первоисточника наших знаний о природе нашел свое яркое отражение в опытах Д.В.Скобельцына, который около 70 лет тому назад впервые увидел (с помощью камеры Вильсона в магнитном поле), что космические лучи на самом деле — не электромагнитное излучение, а потоки частиц сверхвысоких (по сравнению с радиоактивностью) энергий. Постепенно стало выясняться, что именно высокая энергия космических частиц приводит к возможности качественно новых процессов их взаимодействия с веществом и к возникновению частиц нового типа (позитрон, мезон, гиперон).

Физические исследования в этой области получили мощный стимул в 1944 году, когда В.И.Векслер на основе специальной теории относительности (осужденной вначале представителями диамата за отсутствие объективности описания реальных пространственно-временных форм материи) “изобрел” так называемый принцип автофазировки электрических и магнитных полей. И он же применил его (почти одновременно с американскими коллегами) к созданию ускорительных машин, способных существенно обогатить и улучшить природные источники космических лучей.

Так была открыта дверь в новый, “рукотворный” мир, где наряду с уже известными электромагнитными взаимодействиями частиц вступают в игру качественно новые явления резко ограниченных в пространстве взаимодействий слабого и силь-

ного типа. В результате восторжествовал характерный для рационализма принцип редукционизма, как сведения структуры и свойств материи к неким элементарным сущностям атомарного и субатомарного масштаба. Но только взамен неизменных во времени и неразложимых на составные части атомов вещества физики научились “приготавливать” целый спектр разнообразных частиц, отличающихся друг от друга не только массой и электрическим зарядом, но и временем жизни и целым набором внутренних характеристик. Сначала это были спины (механический и магнитный моменты), потом (уже на уровне субэлементарных частиц — кварков) различного рода антропоморфные по названиям ароматы и цвета, включая так называемую странность, прелесть, красоту и пр.

Чтобы разобраться во всей этой гамме цветов и оттенков микромира, понадобилось создать достаточно сложный математический аппарат и, в частности, применить теорию групп, с характерными для каждой из них симметриями преобразований. Так присущий еще Декарту аналитический принцип описания и объяснения явлений природы позволил осуществлять не просто систематизацию уже открытых частиц, но и предсказания частиц нового типа.

Открытие в природе достаточно красивых симметрий, которые позволили и объединить такие качественно разные взаимодействия, как электромагнитное и слабое в единое (электрослабое), и предсказать в качестве “законных” партнеров фотона как носителя чисто электромагнитных сил также очень массивные носители электрослабого взаимодействия, так называемые промежуточные бозоны 3-х сортов. Последние и были вскоре открыты с помощью нового поколения ускорителей, эффектно продемонстрировав в который уже раз общность диалектико-материалистического принципа перехода количества в качество.

Что касается принципа наблюдения, то его пришлось ограничить введением принципа наблюдаемости, допускающего возможность и ценность не только прямых, но и косвенных наблюдений. Последнее относится, в частности, к доказательству существования как виртуальных носителей взаимодействий, так и субэлементарных частиц, кварков и глюонов, столь необходимых для нынешней общепризнанной хромодинамической теории сильных взаимодействий, но проявляющих себя лишь после распада на “обычные” частицы.

А на горизонте физики частиц высоких энергий уже маячит перспектива создания единой теории (так называемое ТОЕ, или теория всего на свете), объединяющей все 4 типа взаимодействий, включая сильное и гравитационное.

Говоря о важнейших представлениях физики высоких энергий, нельзя обойти молчанием и ситуацию с вакуумом. Бывшая “абсолютная пустота”, в которой крутились вихри декартовых частиц материи, вакуум явился современным физикам в облике активной физической среды, проявляющей себя и как источник неограниченного числа извлекаемых из нее пар частиц и античастиц (в частности, так называемых “морских кварков”), и как среда с отрицательным давлением (об этом будет еще сказано ниже) и с нарушенной (частично) зеркальной симметрией пространственных свойств, и как инициатор формально “спонтанных” распадов всех нестабильных частиц.

И еще два слова о перспективах. Все больше поклонников завоевывает идея возможного открытия суперчастиц и физических полей, когда каждой из частиц “обычного” вещества с полуцелым механическим спином можно будет отыскать партнера с целым значением того же спина. А ведь именно полуцелость спина является основой статистического закона Паули, на котором зиждется вся структура периодической таблицы химических элементов по Менделееву, в то время как целые спины так называемых куперовских электронных пар явились основой теории такого уникального явления, как электрическая сверхпроводимость.

3. Еще раз о квантовой механике. О “зеленых человечках” и “идолах” на пути познания

Воспоминание об “идолах” на пути рационального познания природы (в терминологии Бэкона) приходит на ум и тогда, когда читаешь о первой реакции научной общественности на квантовые постулаты Бора (1913 г.), и снова, когда возвращаешься к истории открытия пульсаров полвека спустя.

Действительно, осмыслить два бесспорных экспериментальных факта, об устойчивости ядерной структуры атома и дискретном, по частоте и времени, характере спектров его излучения, казалось возможным лишь при полном разрыве со здравым смыслом, олицетворяемым классической электроди-

намикой. Как отметил в свое время (1949 г.) М.А.Марков⁷, вся парадоксальность и постулатов Бора, и связанного с ними корпускулярно-волнового “дуализма” двуликого языка квантовой механики определяется кардинальным различием масштабов исследователя и его приборов, с одной стороны, и исследуемых объектов микромира, с другой. Это связано с тем, что привычные для микромира идеализированные образы материальной точки и бесконечной монохроматической волны годятся лишь в рамках, отведенных им соотношением неопределенностей. Кстати, и возможность вероятного характера переходов атомарного электрона с орбиты на орбиту была, в известной мере, “оправдана” еще Лейбницем, когда он говорил, что вероятность есть объективная категория, которую следует “вывести из природы вещей”

Ситуация удивительным образом повторилась, когда молодая английская аспирантка Белл в 1967 г. обнаружила таинственные радиосигналы с периодом порядка 1 сек. явно космического происхождения. Масштабы этого периода были настолько “человечны”, что невольно закрадывалось подозрение о сигналах внеземной цивилизации (поэтому открытие и было засекречено почти на полгода!). И лишь тогда, когда источники сигналов такого типа были сопоставлены с быстро вращающимися нейтронными звездами — миниатюрными (масштаба 10 км) остатками от взрывов Сверхновых звезд, стало ясно, что явление вполне укладывается в “природу вещей”

Не менее сенсационное продолжение радиоастрономических историй с пульсарами пришло в 1994 г., когда Нобелевский комитет присудил Тейлору премию за открытие гравитационных волн. Это открытие было основано на многолетних скрупулезных наблюдениях эволюции орбит двух близко расположенных пульсаров и не менее скрупулезных расчетах, подтвердивших соответствующий эффект гравитационного излучения по общей теории относительности с точностью порядка 0,1%. И это событие явилось новым торжеством как аналитического подхода на языке точной математики, так и убедительности косвенной наблюдаемости явлений природы.

4. О невероятно антропном устройстве Вселенной

Как было отмечено автором на одной из конференций по логике, методологии и философии науки (Москва, 1987 г.), высокая степень чисто профессиональной изолированности понятийных сфер конкретных наук приводит к тому, что крупные скачки научного знания рождаются, как правило, лишь на стыках различных областей науки. Яркий пример тому — проблема реликтового радиоизлучения, признанного современной космологией в качестве сильно остывшей световой вспышки, рожденной Большим взрывом миллиарды лет тому назад.

Как и почему произошел Большой взрыв? Достаточно правдоподобное объяснение этого события появилось лишь в конце 80-х гг.,⁸ когда были развиты так называемые инфляционные модели флуктуаций скалярных полей в вакууме. При достаточно больших масштабах этих флуктуаций начинает сказываться особенность вакуума как среды с отрицательным давлением, расширение которой (в отличие от “нормального” газа) приводит к очень быстрому (ничтожные доли секунды!) и очень сильному разогреву материи с образованием вначале свободных кварков и глюонов (кварк-глюонная плазма), а затем (если повезет) — с их распадом на обычные частицы с последующим образованием отдельных звезд и галактик.

Серьезная философская (т.н. антропная) проблема состоит в том⁹, почему основные физические параметры взорвавшейся материи (фундаментальные константы и типы симметрий) так удачно “подобраны”, чтобы удалось обеспечить достаточно долгую эволюцию звездной материи с синтезом всех достаточно тяжелых атомных ядер и атомов, необходимых для биологической эволюции вплоть до стадии разумной жизни. Один из вариантов современного научного ответа состоит в том, что вариантов Большого взрыва разыгрывалось очень и очень много и только тот из них, который оказался для нас удачным, обеспечил нам возможность жить и обсуждать саму эту проблему. Говоря о ближайших перспективах сотрудничества физики, астрофизики и космологии, отметим в связи с этим интенсивно предпринимаемые попытки воссоздать экспериментально на ускорителях, при столкновениях атомных ядер сверхвысокой энергии сам процесс образования кварк-глюонной плазмы, многовариантные теоретические модели

(сценарии) которого усиленно разрабатываются физиками-теоретиками в последние годы.

Очень серьезной, решаемой пока чисто теоретически (в частности, в работах А.Д.Сахарова), проблемой остается, в связи с моделью Большого взрыва, причина резкой асимметрии вещества и антивещества. Действительно, из первичной кварк-глюонной плазмы просто обязаны были рождаться именно барион-антибарионные пары и только из-за эффекта нарушения определенного типа симметрий (четности, заряда и др.), мало заметного теперь при наших низких температурах, могла появиться столь резкая (в наблюдаемой части Вселенной) асимметрия вещества и антивещества.

5. О всеволновой астрофизике, “черных дырах“, “темной” материи и снова о принципах объективности и наблюдаемости

Возможности прямого наблюдения небесных тел неизмеримо расширились в результате “освоения” инструментальной техникой широчайшего диапазона электромагнитных излучений, начиная от радиодиапазона и кончая гамма-излучением высоких и сверхвысоких энергий. Особый прогресс был достигнут после выхода человека за пределы земной атмосферы и с бурным развитием электронно-вычислительной техники. Астрофизикам стали доступны легко поглощаемые (даже при наличии озонных дыр) “мягкие” излучения, а накопление и специальная обработка получаемой на телескопах информации позволила во много раз увеличить разрешающую способность телескопов. Таков, например, создаваемый в конце XX века под руководством Н.С.Кардашева в России уникальный радиотелескоп, который будет работать на орбите спутника Земли и иметь эффективный диаметр, в 10 раз превышающий диаметр Земли (напомним, что “острота зрения” телескопа пропорциональна его диаметру). Очень перспективными уже сейчас оказались наблюдения с рентгеновскими телескопами, работающими по методу интерференции рентгеновских лучей на специальных полупрозрачных масках (такие телескопы разработаны, в частности, в России Р.А.Сюняевым на основе международного сотрудничества).

Современная рентгеновская астрономия считает своим крупнейшим достижением наблюдения нейтронных звезд и

“черных дыр” путем регистрации излучений частицами, в процессе интенсивного их “всасывания” (так называемые аккреции) в гравитационных полях, окружающих миниатюрные, но весьма массивные небесные тела. Так приняли облик физической реальности, постигаемой, по существу, лишь косвенным наблюдением и уникальное явление искривления пространства, предсказанное А.Эйнштейном в его общей теории относительности (ОТО), и уникальные объекты в виде гигантских ступков ядерной материи (нейтронные звезды), и явление “ушедших за горизонт” прямой наблюдаемости “черных дыр”. Интересно отметить одну особенность таких наблюдений: рентгеновские источники оказались, как правило, резко нестационарными, они “вспыхивают” и “гаснут” на протяжении нескольких дней, в то время как темпы эволюции “нормальных” звезд измеряются многими миллионами лет, а эволюция Вселенной в целом — порядка 15 миллиардов лет.

Одной из интереснейших проблем современной астрофизики остается проблема существования “темной” материи, предсказываемой из анализа темпов вращения галактик. Дело в том, что и скорость ее вращения, и спиральный характер структуры определяются общей массой галактики как целого, и она должна быть по крайней мере на порядок больше, чем суммарная масса всех звезд, межзвездного газа и пыли. Предполагается, что несветящейся и не отражающей свет эта особая материя оказывается из-за большой массы ее частиц. Самые ухищренные методы эксперимента пока не дали прямых указаний на ее существование, зато имеются уже бесспорные косвенные наблюдения на основе эффекта так называемого гравитационного микромирирования расположенных сзади них светящихся звезд. Но если она действительно есть и средняя удельная плотность всей материи Вселенной превышает критическое значение (10^{-27} г/см³), то реально наблюдаемое расширение Вселенной со временем сменится ее сжатием с возможным появлением нового цикла пульсации.

Говоря о свойствах нейтронных звезд, нельзя обойти молчанием сверхтекучее состояние их материи — уникальное явление, полученное в лаборатории П.Л.Капицей на жидком гелии полвека назад и блестяще объясненное Л.Д.Ландау.

Итак, мы видим, что астрофизика на рубеже XXI века живет напряженной жизнью, в которой тесно переплетаются такие черты, как относительность пространственно-временных

форм материи, отсутствие прямой наблюдаемости, аналитическое описание и объяснение эволюции мира и его самоорганизации, недостаточность диалектического принципа прямого (зеркального) отражения материи сознанием.

6. Прикладные исследования и экологические проблемы

Успехи прикладной физики и технологии позволили человеку второй половины XX века выйти за пределы родной планеты, вступить на поверхность Луны и забросить свои приборы (пока без участия человека) на Марс, Венеру и к другим телам Солнечной системы. Особенно престижной стала недавно осуществленная американская высадка марсохода на Марс, которая связана, в частности, с поисками внеземных форм жизни и с более глубоким пониманием условий возникновения жизни на Земле. Несмотря на очень суровые условия Марса как по температурному, так и по химическому режиму (крайне ограниченные запасы воды и кислорода, низкое атмосферное давление), нельзя категорически отвергнуть заявления некоторых ученых о косвенном обнаружении на Марсе низших форм живого, хотя бы в “законсервированном” виде, в качестве реликтовых остатков от более благоприятных эпох эволюции этой планеты.

К сожалению, условия существования цивилизованного человека на нашей родной планете становятся все менее благоприятными. Основная причина ухудшения экологической обстановки состоит в резком несоответствии темпов научно-технического прогресса и возможностей природы восстановить нарушенное равновесие с человеком в рамках единой ноосферы¹⁰ Поэтому, оставаясь в рамках принципов детерминизма и предсказуемости хода событий, ученое сообщество в целом и физическая его часть особенно должны прежде всего предвидеть степень опасности надвигающихся катастроф.

В этом плане прежде всего надо отметить заслуги ученых (в частности, это Е.П.Велихов и Н.Н.Моисеев в России), которые возглавили разработку предсказаний, относящихся к роковым последствиям развязывания ядерной войны и получившие название “ядерной зимы” Было убедительно показано, что не только массовое радиационное загрязнение всей планеты, но и резкое, длящееся годами ухудшение климатической обстановки

(из-за поглощения солнечного света большим количеством технологических отходов) не оставит надежды на выживание и “отсидку” элитной части населения в заранее подготовленных убежищах (включая подземный город в Москве).

К сожалению, как отметил еще П.Л.Капица¹¹, локальные (во времени и пространстве) проблемы человеческих сообществ, как правило, не оставляют сил и ресурсов на решение глобальных проблем, даже самых угрожающих.

Особенно сильно это сказывается в наше время в связи с падением престижа и возможностью хотя бы выживания науки, и не только в России с ее трудностями переходного периода. Эта же трудность возникает и в отношении к проблемам, не более чем косвенно связанным с отрицательными последствиями техногенной цивилизации.

Речь идет прежде всего об угрозах катастроф, связанных как с сильными землетрясениями, так и с падением на Землю крупных метеоритов. Лишь очень скромные успехи в предсказании землетрясений можно отметить в работах ученых Института физики Земли (И.Л.Гуфельд и др.), которые обнаружили определенные корреляции между надвигающимися землетрясениями в сейсмоопасных зонах и состоянием верхних слоев ионосферы, контролируемых средствами дальней радиосвязи.

Более определенным, но требующим еще больших затрат делом оказалось налаживание глобальной астрономической службы слежения за орбитами астероидов и крупных комет (типа поразившей недавно Юпитер), в частности, с использованием высокоинформативной межконтинентальной радиолокации.

Идея расширения работ по экологически направленной тематике все сильнее овладевает учеными, в частности, в институтах физико-технического профиля. Один из характерных примеров — Институт имени Пауля Шерера (PSI) под Цюрихом. Весьма значительная (~ 50%) часть всех сил и ассигнований здесь тратится на экологические направления работ. Из них хотелось бы выделить разработанный там метод получения экологически абсолютно безвредного горючего — водорода — в замкнутом цикле с использованием высокотемпературной солнечной печи. Этот цикл сможет в значительной мере заменить традиционные источники сырья для топливно-энергетического комплекса (нефть, газ и уголь), которые “наводняют” атмосферу Земли окислами азота и серы.

Из острейших экологических проблем, в решении которых все больше и больше участвуют физики, хотелось бы особо отметить следующие две. Во-первых, это — глобальные выпадения делящихся материалов (соединения урана и плутония), которые весьма неравномерными пятнами покрывают землю в результате аварий на предприятиях ядерной энергетики. Среди оперативных методов обнаружения этого зловещего “мусора” ядерного века можно упомянуть разработанные недавно приборы, действие которых основано на импульсном облучении подозреваемых объектов (в том числе средств перевозки скрытой контрабанды делящихся материалов) потоками нейтронов с регистрацией и анализом вторичных нейтронов с характерными для них временами запаздывания.

Вторая опасность, особенно в крупных городах, — это тяжелые металлы, вплоть до свинца, которыми все больше насыщается окружающая нас среда не только из-за выделения выхлопных газов автотранспорта, но и из-за неудачного, экологически безответственного подбора строительных материалов (штукатурка, краски, асбест и пр.). В качестве примера упомянем о необходимости ликвидировать (взорвать) роскошный дворец молодежи на территории бывшей ГДР только из-за того, что применявшийся при возведении дворца асбест категорически запрещен современным германским законодательством.

Любопытно, что в качестве одного из методов контроля за содержанием тяжелых металлов в среде физики применяют тот самый рентгено-флюоресцентный анализ (метод спектрального анализа вторичного рентгеновского излучения), которым в свое время пользовались физики на поверхности Луны. В стационарных условиях большие перспективы всесторонней диагностики контрольных проб сулит все более развитая сеть источников синхронного (всеволнового) излучения электронных пучков в магнитном поле ускорителя.

Очень важны в этом плане также ресурсосберегающие методы экономии энергии и особенно — работы по получению новых высокотемпературных сверхпроводников на основе, в частности, многослойных металлоорганических соединений.

Столь же актуальны разработки новых, более долговечных и экологически чистых материалов, которые так необходимы в условиях непрерывного накопления разнообразного мусора, и

не только на поверхности Земли, но и в морях, и даже в космическом пространстве.

Нельзя здесь не упомянуть и о работах по нейтрализации отходов ядерной энергетики с помощью пучков частиц, даваемых современными ускорителями.

Отметим, что предсказания экологических бедствий, как правило, требуют замены обычного причинно-следственного подхода на системный подход, при котором учитываются сложные системы прямых и обратных связей в неустойчивых природных или недостаточно надежных технических системах. В частности, во многих научных центрах сейчас ведутся разработки ускорительных комплексов, использующих воздействие ускоренных частиц на делящиеся элементы (в частности, торий) в принципиально подкритическом режиме, когда вероятность аварийных ситуаций полностью исключена.

Совокупность рассмотренных в этом разделе и других проблем позволяет подойти к восприятию насущной необходимости принципов так называемого “терпимого развития” цивилизации, направленных на разумный компромисс между нуждами и запросами ныне живущих и будущих поколений человечества. Эти принципы неотвратимо должны включать в себя: 1) экологию, 2) экономику, 3) социальную сферу, 4) науку и 5) культуру.

Экологическая часть подразумевает снижение траты невозобновляемых и рост доли возобновляемых источников энергии; снижение выброса токсичных продуктов в биосферу; сохранение биологического разнообразия. Экономические принципы это — гармонизация международных стандартов с учетом роста “цены” за порчу окружающей среды; кооперация государственного и частного сектора; “прозрачность” производственных технологий. Социальные принципы это — стимулирование активности каждой личности и уверенность каждого в получении своей доли продуктов производства. Научный аспект означает, что исследовательские программы в целом должны учитывать фактор глобальных проблем. Наконец, культурный аспект — это создание благоприятного культурного и философского “климата” для гармонии (коэволюции) человека и всех остальных живых существ.

Комментируя изложенное выше сочетание принципов терпимого социального развития земной цивилизации, хочется отметить их как очень актуальный пример рационального

принципа системного подхода через совокупность прямых и обратных связей между духовными ценностями науки и культуры и материальными факторами среды обитания и технологии производства товаров и средств коммуникации.

7. Об астрологии, экстрасенсорике, психофизических явлениях, о механизмах и критериях научной достоверности

Как показывает опыт многократных ошибочных, хотя психологически и вполне оправданных надежд на завершение всего здания физики, возникающие на пороге XXI века, новые проблемы не дают оснований увидеть за ближайшим порогом физического знания нечто вроде абсолютной истины в духе ортодоксального диалектического материализма. В философском плане такая ситуация означает проблему выбора: либо отбросить за негодностью все (или почти все) принципы классического рационализма, либо идти по пути их развития на основе достижений естествознания XX века. Конкретный выбор нам представляется следующим образом.

1. Переход от классического детерминизма Лапласа с его фатальной неизбежностью цепочки причин и следствий к детерминизму вероятностного типа и открытому системному подходу с учетом прямых и обратных связей, не выходящий при этом за рамки более общего принципа самоорганизации природы в духе тезиса Спинозы (*causa sui*).
2. Переход от аналитического редукционизма с его опорой на вечные и неизменные атомы и фундаментальные сущности материи к разнообразным процессам генерации все новых и новых типов подвижных, недолговечных частиц и полей (в частности, виртуальных частиц и вакуума) как носителей физического взаимодействия.
3. Переход от классического принципа абсолютной объективности описания природы к дополнительности разных способов описания (своего рода разных "проекций" видения мира), зависящих от природы, свойств и состояния движения инструментов и средств познания и осваиваемых человеческим сознанием с учетом особенностей строения и свойств познающего субъекта, специфики его информационного арсенала,

методов обработки информации и способов теоретического моделирования мира физических явлений.

4. Усиление объявленной еще Бэконом линии борьбы с “идолами” консерватизма и “здорового смысла” по пути бесконечного качественного развития науки с использованием в случае необходимости новых, “безумных” (в терминологии Н.Бора) идей в периоды появления принципиально новых научных фактов.
5. Развитие математического аппарата физики по мере расширения ее горизонтов с целью получать не только количественное описание происходящих в мире (в том числе — “рукотворном” мире экстремальных лабораторных ситуаций) процессов, но и их объяснения, т.е. сведения к свойствам сущностей все более глубокого порядка.
6. Сохранение тенденций к предсказуемости не только хода уже известных процессов, но и новых объектов и сущностей, в частности с учетом возможности расширения так называемой “стандартной модели” мира частиц материи (6 и только 6 типов кварков и лептонов) по мере расширения области применения этой модели (в частности, за счет “освоения” более высоких энергий частиц) и ликвидации принципиальной границы между частицами и физическими полями (имея в виду надежды на успех суперсимметричной модели мира частиц и полей).
7. Сохранение классического духа скептицизма в отношении выходящих за рамки современной науки паранаучных попыток описания мира без обращения к “механизмам” (в самом общем смысле этого понятия) явлений и критериям достоверности самого знания.

По поводу последнего пункта следует более подробно остановиться на таких модных, как новых, так и извлекаемых заново старых методах познания, как астрология, экстрасенсорика и психофизические эксперименты.

Во времена Мирзо Улугбека (XIV век) считалось, что судьбы отдельных людей и народов записаны в книге созвездий, и задача астрономов состоит в том, чтобы научиться эти книги читать. В дальнейшем вошло в обиход составление гороскопов, которые, по идее, должны раскрывать судьбу человека в зависимости от даты его рождения (под “счастливой” или

“несчастливой” звездой!). Для обоснования веры в гороскопы иногда ссылаются на успехи (во многом, впрочем, спорные) гелиобиологии, пионером которой был у нас А.Л.Чижевский, а в Италии Дж.Пиккарди (см., например¹²). Существенная разница состоит, однако, в том, что гелиобиологам удалось нащупать конкретные механизмы воздействия солнечных факторов (в частности, флуктуаций магнитных полей) на состояния земной атмосферы и живых организмов, связанные с влиянием очень слабых внешних воздействий на сильно неустойчивые системы живой и неживой природы.

Однако между активностью нашего Солнца и движением далеких звезд есть одна существенная, прежде всего количественная разница. И хотя, как показывают расчеты, ничтожно слабые гравитационные поля звезд в состоянии перевести резко неравновесные состояния газа в равновесные (с распределением скоростей молекул по Максвеллу) обосновать воздействия этих полей на характер и судьбы большого числа резко разных людей представляется практически невероятным.

Проблемам возможных экстрасенсорных взаимодействий между людьми занималась в Институте радиотехники и электроники РАН группа Э.Э.Годика¹³ с той, весьма здравой идеей, что реальный диапазон, скажем, электромагнитных излучений (и акустических полей также) гораздо шире, чем тот, который доступен органам чувств “обычного” человека, и это можно понять также по затронутым выше успехам всеволновой астрофизики. И действительно, Годик показал, как, скажем, одна затяжка сигаретой кардинально меняет электромагнитный “портрет” человеческого тела. К сожалению, картина в целом сильно осложняется факторами психологического (в частности, гипнотического) воздействия, которые, в свою очередь, изучены крайне плохо. Впечатление остается таким, что скольконибудь убедительных, надежно воспроизводимых результатов изучения экстрасенсорных явлений пока получить не удавалось, тем более не удавалось дать им объяснение в духе все того же “механизма” (конечно, не обязательно механического порядка). Кроме того, увлекаясь отдельными успехами тех или иных нетрадиционных направлений, люди редко задаются вопросами возможной недобросовестности (проще говоря, шарлатанства) и критериев достоверности факторов, без которых никакое знание не может считаться научным. Отметим, кстати, что даже в такой, казалось бы, реально наблюдаемой и регист-

рируемой области жизни, как история, проблема достоверности источников сведений остается далеко не простой (даже для специалистов по источниковедению) в сильной степени благодаря как уникальности, невозпроизводимости каждого отдельного события, так и различия в критериях ценности тех или иных социальных групп.

Впрочем, интересные попытки высокочувствительной и воспроизводимой регистрации экстрасенсорных воздействий предпринимаются группой В.С.Барашенкова в ОИЯИ (Дубна)¹⁴, которая разработала надежный метод высокоточного измерения температуры жидкости, подвергшейся воздействию экстрасенса.

С точки зрения престижа фундаментальной науки и конкуренции ее с другими видами экспериментальной деятельности может быть наиболее острой надо признать проблему доверия широкой аудитории к реальности психофизических наблюдений, проводимых с привлечением самых современных компьютерных систем. Претензии авторов этих методик состоят, как известно¹⁵, в том, чтобы осуществить своеобразный “диалог” между нашим представлением об объекте исследования (включая такой простой, как маятник) и компьютером, которому дается возможность управлять состоянием этого объекта. К сожалению, проблема преобразования ощущений в психические процессы до сих пор по-настоящему никак не решалась, поэтому интерпретация результатов работы не может служить предметом конкретной критики при всей парадоксальности и иррациональном характере этих результатов.

8. О социальном заказе, престиже науки и ее конкурентах

Требование объективности научных знаний отнюдь не означает “нейтральность” науки к запросам социальной среды, окружающей ученого. В дополнение к тем социокультурным факторам оправдания деятельности ученого, о которых уже шла речь в книге Е.А.Мамчур¹⁶, хотелось коснуться нескольких более современных факторов, которые питают корни неравномерно растущего “дерева познания” В связи с окончанием холодной войны между миром социализма и западной цивилизацией ореол физиков, спасающих родину от угрозы “ядерного меча” противника, явно померк. А теперь американский на-

логоплательщик (в лице представляющих его сенаторов США) скорее соглашается платить за оснащение дорогостоящего, но престижного космического комплекса “Альфа” и экспедиции на Марс, чем финансировать, скажем, сверхпроводящий суперколлайдер (SSC), на который физики возлагали столь большие надежды.

Это означает, что ту же американскую фундаментальную науку питают не только прагматические нужды привыкшего к комфорту населения, но также честолюбие и национальная гордость.

Одной из важных задач науки является добывание духовных ценностей познания человеком окружающего мира и своего места в нем. И в этом плане во весь рост встают затронутые Г.И.Рузавиным¹⁷ проблемы методологии убеждения. Оказывается, что еще со времен Аристотеля метод логического обоснования мыслей оратора (или автора книги, добавим) и его выводов стоит на последнем месте. Зато гораздо важнее оказывается эмоциональный настрой аудитории и общность ее интересов с оратором (лектором) или автором научного трактата.

И дело здесь не только в степени доверия. Как сказал в свое время К.Симонов (в ответ на сомнения в доверии к его “святочной истории” для кинофильма “Жди меня”), людям нужны “валериановые капли” в самом общем смысле слова. Подобные “капли” охотно готовы были давать и дают, конечно, не только литература социалистического реализма и религия, но и бесчисленные прорицатели всех мастей, умело использующие настрой своих легковверных слушателей и читателей.

Вот почему, в частности, так болезненно сказываются на престиже науки такие ее слабости, как неумение предсказать грядущие беды типа, скажем, сахалинского землетрясения мая 1995 г. или нашествия коварного СПИДа. На этом фоне охотно бросают “спасательный круг” надежды ловкие составители гороскопов или ловцы человеческих душ типа секты пресловутой “Аум синрикё”

Однако при этом умышленно забывают о том, что окружающий нас сегодня комфорт тела и души (скоростной транспорт, высокая энергетическая обеспеченность, высокая урожайность сельского хозяйства, телевидение, радио, электронная почта и многое другое) в конечном итоге — заслуга

фундаментальной науки. Как не вспомнить здесь тезис о критерии практики — одной из основ диалектического материализма, столь поносимого ныне по законам “маятника” философского мнения.

Все это означает, среди прочего, недопустимость ослаблять поддержку массовому фундаментальному образованию, которым не без основания гордилась Россия и которому угрожают ныне соблазны “красивой жизни” коммерсантов и банкиров. Очень важно также укрепление связи между учебными и научными институтами, которые сильно подорваны крайне низкими финансовыми возможностями для приема в академические институты наиболее способной части оканчивающих вузы специалистов, вынужденных сейчас искать свою научную “нишу” за рубежом.

Борн М. Физика в жизни моего поколения. М., 1963. С. 170.

Шредингер Э. Вопросы философии. 1994. №№ 7, 8, 10.

Корогодин В.И. Информация и феномен жизни. Пушкино, 1991.

Ленин В.И. Философские тетради. Изд. ЦК ВКП(б), 1934. С. 203.

Урманцев Ю.А. Вопросы философии. 1993. № 4. С. 89.

Фейнберг Е.Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. М., 1992.

Марков М.А. Вопросы философии. 1949. № 1.

Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1984.

Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной. М.: Наука, 1984.

Лисичкин В.А., Шелепин Л.А., Блев Б.В. Закат цивилизации или движение к ноосфере. М., 1997

Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. М. 1974. С. 277-284.

Шноль С.Э. Природа. 1994. № 9. С. 3.

Известия. 1986. 28 дек.

Барашенков В.С. Доклад на Международной конференции по логике, методологии и философии науки. Обнинск, 1995.

Налимов В.В. Вопросы философии. 1993. № 9. С. 85.

Мамчур Е.А. Проблемы социокультурной детерминации научного знания. М., 1987.

Рузавин Г.И. Вопросы философии. 1994. № 12. С. 107.

Методология построения теории в неклассической физике

Пути формирования теоретических знаний в современной физике во многом отличны от классических образцов. Главное отличие состоит в том, что построение современных теорий начинается с поисков математического аппарата, эмпирическая интерпретация которого, по крайней мере во многих частях, вначале неизвестна. Эта интерпретация формируется позднее, уже после введения основных уравнений теории¹.

Такой путь исследований, основанный на широком применении метода математической гипотезы, породил ряд специфических философских и методологических проблем. С особой остротой была поставлена проблема взаимосвязи формально-математических и содержательно-физических аспектов современного теоретического поиска.

Теоретическая модель как интерпретация уравнений физической теории

Математические аппараты физики как составная часть физической теории обязательно должны быть связаны с реальными, экспериментально фиксируемыми свойствами и отношениями физических объектов. Средством, обеспечивающим такую связь, своеобразным мостиком между математическим формализмом и изучаемыми в теории физическими процессами является теоретическая модель. Она представляет собой относительно замкнутую систему абстрактных объектов, в которой выполняются уравнения. По отношению к исследуемой

физической реальности модель выступает в качестве ее идеализированной схемы.

Логико-методологический анализ позволяет довольно легко обнаружить такие модели в составе научной теории. Так, например, в классической электродинамике процессы электромагнетизма характеризуются через отношения векторов электрического поля в точке, магнитного поля в точке и плотности тока в точке. “Электрическое” и “магнитное” поле в точке и “плотность тока в точке” — суть абстрактные объекты, связи которых образуют теоретическую модель, лежащую в фундаменте классической теории электромагнетизма²

Уравнения, применяемые в теории, непосредственно выражают связи и отношения абстрактных объектов соответствующей модели. В них фиксируется связь признаков, которые характеризуют абстрактные объекты. Такие признаки представлены в уравнениях определенными математическими символами и выступают в форме физических величин. Так, например, главным и основным признаком, по которому поле в точке вводится в качестве абстрактного, теоретического объекта, является напряженность поля. Связи между векторами электрической и магнитной напряженностей и вектором плотности тока в уравнениях Максвелла, их изменение во времени от точки к точке непосредственно описывают теоретическую модель, которая выражает существенные черты электромагнитных процессов. Уравнения теории соотносятся с опытом благодаря отображению теоретической модели на ситуации реального эксперимента. Такое отображение приводит к появлению в теории правил, связывающих физические величины с опытом.

Обязательность включения в состав теории правил, в соответствии с которыми основные физические величины, фигурирующие в аппарате, сопоставляются с результатами эксперимента и измерения, отмечается практически во всех логико-методологических исследованиях. Эти рецепты называют чаще всего правилами соответствия, или операциональными определениями. Но структура таких определений проанализирована явно недостаточно. В частности, указание на то, что они сводятся к описанию реальных экспериментально-измерительных операций с реальными телами, не исчерпывает сущности правил соответствия³

Дело в том, что величины уравнений теории фиксируют признаки абстрактных идеализированных объектов (таких, как поля в точке), тогда как величины, с которыми физик имеет дело в эксперименте, соответствуют свойствам и отношениям реальных объектов (таких, как реальные магниты, заряженные тела, провода с током и т.д.). Это в принципе различные смыслы физической величины, и для того чтобы отождествить их, нужно специально обосновать принципиальную сопоставимость признаков абстрактных объектов, образующих теоретическую модель, со свойствами и отношениями объектов экспериментальных ситуаций.

Обоснование такого рода достигается путем введения основных признаков абстрактных объектов в рамках мысленного эксперимента, который является идеализацией и схематизацией обобщаемых в теории реальных экспериментов и измерений. Переход от реальных экспериментов и измерений к их идеализированному представлению дает возможность выделить существенные черты изучаемых в эксперименте взаимодействий. Это и позволяет заместить свойства и отношения реальных объектов абстрактными теоретическими объектами. Поэтому операциональное определение физической величины включает в себя: 1) описание идеализированной процедуры измерения, в рамках которой определяется данная величина, и 2) описание способов построения данной процедуры на базе реальных экспериментов и измерений, обобщаемых в теории. Таким путем фиксируется способ введения абстрактных объектов теоретической модели как идеализаций, опирающихся на реальную экспериментально-измерительную практику.

Принципиальная возможность ввести все основные абстрактные объекты теоретической модели в качестве эмпирически обоснованных идеализаций делает модель абстрактной схемой предметных взаимодействий, характеризующих реальные эксперименты и измерения. Модель должна сопоставляться не только с уже осуществленными экспериментами, но и с ситуациями будущего эксперимента и измерения, а для этого она должна предстать в объективированном виде как изображение естественных процессов самой природы. Такая объективизация имеет глубокие основания, поскольку изменение состояний объектов, взаимодействующих в эксперименте, происходит не

произвольно, а в соответствии с объективными законами природы.

Итак, теоретическую модель можно рассматривать в двух аспектах — как схему экспериментальной практики и как системное изображение процессов природы, исследуемых в рамках этой практики. Оба отмеченных аспекта теоретической модели неразрывно связаны между собой, и разделить их можно лишь функционально.

Способность теоретической модели отображаться на ситуации эксперимента обеспечивает эмпирическую осмысленность величин, входящих в уравнение (эмпирическая интерпретация), а то обстоятельство, что модель представляет структуру исследуемых процессов природы в объективированной форме, обеспечивает семантическую интерпретацию уравнений (они приобретают физический смысл в качестве теоретического выражения законов природы).

Будучи связанными с экспериментом, теоретические модели обязательно включаются в состав теории. Уравнения же, выражая в языке математики отношения между абстрактными объектами модели, тем самым разворачивают потенциально скрытые в модели характеристики изучаемой реальности. При этом между математическим формализмом и теоретической моделью, в которой он выполняется, всегда существуют обратные связи. Изменение фундаментальных уравнений теории означает, что изменяются связи между признаками абстрактных объектов модели, т.е. меняется сама теоретическая модель. И наоборот, если ввести в фундамент теории новую систему абстрактных объектов, то это может потребовать нового аппарата теории.

Если принять во внимание все эти особенности строения теоретических знаний физики, то при обсуждении современных форм теоретического исследования неизбежно возникают вопросы следующего типа: как взаимодействуют математический аппарат и теоретические модели в процессе построения теории? Как формируются теоретические модели в современной физике?

По-видимому, априори, без обращения к реальной истории науки нельзя получить удовлетворительного ответа на эти вопросы. Для этого необходим анализ конкретного исторического материала. С этой целью мы остановимся на некоторых

принципиальных моментах построения современной физической теории на примере исторического развития квантовой электродинамики.

Математическая гипотеза и парадоксы эмпирической интерпретации

Квантовая электродинамика создавалась методом математической гипотезы, и ее история началась с построения формализма, позволяющего описать “микроструктуру” электромагнитных взаимодействий.

Создание указанного формализма довольно отчетливо расчленяется на четыре этапа. Вначале был введен аппарат квантованного электромагнитного поля излучения (поле, не взаимодействующее с источниками). Затем, на втором этапе, была построена математическая теория квантованного электронно-позитронного поля (было осуществлено квантование источников поля). На третьем этапе было описано взаимодействие указанных полей в рамках теории возмущений в первом ее приближении. Наконец, на заключительном, четвертом, этапе был создан аппарат, характеризующий взаимодействие квантованных электромагнитного и электронно-позитронного полей с учетом второго и последующих приближений теории возмущений (был развит метод перенормировок, позволяющий осуществить описание взаимодействующих полей в высших порядках теории возмущений)⁴

Внешне весь этот процесс (по крайней мере в основной своей части) выглядит как серия математических экстраполяций, формирующих систему уравнений для взаимодействующих квантованных полей и методы решения таких уравнений.

Однако, отмечая эвристические функции математической гипотезы, нельзя ограничиваться только констатацией в общем-то тривиального факта, то в современной физике построение теории начинается с попыток “угадать” ее будущий математический аппарат. Это лишь первый шаг к осмыслению генезиса теории⁵ Задача же состоит в том, чтобы за внешней стороной современного исследования увидеть логически необходимые операции, приводящие к построению новых систем теоретического знания. С этих позиций особое значение при-

обретает следующий исторический факт. В период, когда уже был пройден первый и второй этапы построения математического формализма квантовой электродинамики и начал успешно создаваться аппарат, описывающий взаимодействие свободных квантованных полей методами теории возмущений, в самом фундаменте теории были обнаружены парадоксы, которые поставили под сомнение ценность построенного математического аппарата. Это были так называемые парадоксы измеримости полей. В работах П.Иордана, В.А.Фока и особенно в совместном исследовании Л.Д.Ландау и Р.Пайерлса было показано, что основные величины, которые фигурировали в аппарате новой теории, в частности компоненты электрической и магнитной напряженности в точке, не имеют физического смысла^б

Это был период кризиса оснований создаваемой теории, и только на путях его преодоления возможно было дальнейшее развитие квантовой электродинамики.

Анализ природы такого рода кризисных ситуаций выявляет многие важные особенности процесса формирования теоретических знаний на современном этапе.

Прежде всего выясняется, что длинная серия математических гипотез, направленная на создание математического формализма новой теории, неизбежно порождает опасность таких кризисов. Причина этого заключается в следующем. В процессе выдвижения математической гипотезы вначале выбирают уравнения для некоторой области физических процессов, затем видоизменяют эти уравнения так, чтобы описать характерные особенности новой области, подлежащей теоретическому исследованию. Поскольку уравнения всегда должны быть связаны с теоретической моделью (иначе они вообще не будут иметь физического смысла и превратятся в формулы чистой математики), то полученный методом математической гипотезы формализм предполагает наличие гипотетической модели, которая призвана обеспечить его интерпретацию.

Такая модель в неявной форме создается одновременно с новым формализмом, и возникает она как продукт перестройки той системы абстрактных объектов, в которой выполнялись исходные уравнения, перестраиваемые в ходе математической экстраполяции.

Как только исходное уравнение подвергается перестройке, его физические величины получают новые связи, а значит, и

новые определения в рамках новых уравнений. В соответствии с новыми связями физических величин абстрактным объектам прежней теоретической модели приписываются новые признаки и устанавливаются их новые корреляции.

Так создается гипотетическая модель, которая претендует на выражение существенных черт новой области взаимодействия. Эта модель определяет первоначальную семантическую интерпретацию создаваемого формализма теории и до определенного момента стимулирует его развитие.

Однако чем дальше продвигается теоретик таким путем, тем большей становится опасность введения абстрактных объектов с такими признаками, которые исключают саму возможность сопоставления модели со свойствами и отношениями объектов, взаимодействующих в реальном опыте. Гипотетическая модель может оказаться противоречащей особенностям экспериментально-измерительных ситуаций, которые она призвана предсказывать и объяснять. Именно так и случилось с первой моделью, которая была введена вместе с уравнениями квантованного электромагнитного поля. В ней поле характеризовалось как система с переменным числом частиц (фотонов), возникающих с определенной вероятностью в каждом из возможных квантовых состояний. Среди набора классических наблюдаемых, которые необходимы были для описания поля как квантовой системы, важнейшее место занимали напряженности полей в точке. Они появились в теоретической модели квантованного электромагнитного поля благодаря переносу абстрактных объектов из классической электродинамики.

Когда осуществлялась процедура квантования поля, соответствующие величины E и H (электрическая и магнитная напряженности) в уравнениях Максвелла были представлены в качестве операторов, подчиняющихся перестановочным соотношениям. Согласно принципам квантово-механического описания, операторам должны сопоставляться классические наблюдаемые, которые по определению должны быть величинами, допускающими точное измерение с помощью классического прибора. В качестве таковых в квантовую электродинамику были перенесены напряженности электрического и магнитного полей в точке. Но именно это и привело к существенным трудностям. Оказалось, что нельзя связать компоненты поля в точке с реальными особенностями экспериментов и измере-

ний, в которых изучаются квантово-релятивистские эффекты. В силу этого гипотетически введенная модель квантованного электромагнитного поля утрачивала физический смысл, а значит, лишался смысла и связанный с нею аппарат.

Указанное обстоятельство представляет факт первостепенной важности для методологического анализа.

Здесь выясняется, что математические гипотезы, как правило, формируют вначале неадекватную интерпретацию уравнений. Они “тянут за собой” старые физические образы, которые “подкладываются” под новые уравнения. Последнее же может привести к выбраковке даже продуктивных аппаратов при их сопоставлении с опытом. Поэтому уже на промежуточных этапах математического синтеза вводимые уравнения обязательно должны быть подкреплены эмпирическим обоснованием теоретических моделей. Последнее означает, что абстрактные объекты модели должны быть введены как идеализации, опирающиеся именно на ту область экспериментов и измерений, которая должна быть объяснена новой теорией. С этих позиций процесс теоретического поиска может быть описан следующим образом. Вначале осуществляется математическая экстраполяция, и вместе с ней неявно вводится гипотетическая модель, которая обеспечивает интерпретацию уравнений. Модель строится из абстрактных объектов, переносимых из других областей теоретического знания. Эти объекты погружаются в новые отношения, которые заданы математическим аппаратом, созданным методом математической гипотезы. В новых отношениях абстрактные объекты, как правило, наделяются новыми гипотетическими признаками. Используя сформированную таким путем гипотетическую модель, исследователь неявно полагает, во-первых, что она не приведет к противоречиям в теории, т.е. что новые признаки абстрактных объектов не противоречат их прежним признакам, и, во-вторых, что модель имеет связь с опытом именно той области взаимодействий, на описание которых она претендует. Разумеется, что такого рода допущения должны быть специально обоснованы.

Такое обоснование предполагает особую познавательную процедуру. Гипотетическая модель, введенная вместе с новыми уравнениями, должна быть вначале выделена и описана в явном виде как особая система идеализаций (абстрактных теоре-

тических объектов). Затем необходимо осуществить проверку совместимости новых и старых признаков абстрактных объектов (установить непротиворечивость определения физических величин). Наконец, необходимо проверить, можно ли получить новые признаки ее абстрактных объектов в качестве идеализаций, опирающихся на новый опыт. Будем называть объекты, которые удовлетворяют такой процедуре, *конструктивно* введенными, а теоретическую модель, которая определяет интерпретацию уравнений, *конструктивно обоснованной*. Обнаружение неконструктивных объектов в теоретической модели означает, что сама модель не может быть отображена на эксперименты и измерения своей области приложения, а значит, нуждается в перестройке. С этой точки зрения упомянутые работы Фока — Иордана и Ландау — Пайерлса могут быть расценены как проверка “на конструктивность” таких абстрактных объектов теоретической модели квантованного поля, как “напряженности поля в точке”. Суть указанных исследований сводилась к анализу процедур идеализированного измерения, посредством которых вводились определения полей в точке. Классические правила соответствия, согласно которым, например, электрическая напряженность в точке определялась через отдачу точечного пробного заряда, были скорректированы с учетом специфики процессов в квантово-релятивистской области. Точечный заряд был рассмотрен в качестве частицы, которая взаимодействует вначале с измеряемым полем, а затем с прибором-регистратором, подчиняясь квантовым законам. Но тогда выяснилось, что невозможно определить поле в точке измеряя импульс, приобретенный пробной частицей, поскольку возникали неустранимые неопределенности в значении этого импульса. Они возникали в результате того, что любая частица, если ее рассматривать в качестве микрообъекта, подчиняется соотношениям неопределенностей

$$\Delta x \Delta P_x \sim \hbar \text{ и } \Delta E \Delta t \sim \hbar$$

Процесс измерения предполагает, что в момент регистрации состояния пробной частицы, которая получила воздействие со стороны поля, энергия и импульс частицы должны быть переданы прибору-регистратору. При промежутках времени взаимодействия пробной частицы с прибором, стремящихся к нулю (что является условием точной фиксации состояния час-

тицы), неопределенность энергии, характеризующей это состояние, возрастает.

Уже это обстоятельство свидетельствовало о невозможности использовать точечную пробную частицу для измерения напряженности поля в точке при учете квантовых эффектов. Но существовала еще одна трудность, буквально катастрофическая для представления о полях в точке в квантово-релятивистской области. Импульс, который приобретает точечная пробная частица при ее локализации в соответствующей точке поля, не может быть точно определен, поскольку точная координата частицы ($x \rightarrow 0$), делает абсолютно неопределенной ее импульс (согласно соотношению $\Delta x \cdot \Delta P_x \sim \hbar$). А если нельзя определить точно импульс пробной частицы в точке, то, значит, и напряженность поля в этой точке принципиально не может быть измерена.

Ландау и Пайерлс, обнаружив эти парадоксы, тем самым поставили под сомнение уже построенную математическую теорию квантованного электромагнитного поля. Они показали, что применение представлений о точечных пробных телах в квантово-релятивистской области невозможно, а поэтому понятие поля в точке утрачивает физический смысл.

Идеализированные измерения как средство интерпретации математического аппарата теории

Выявление неконструктивных элементов в предварительной теоретической модели обнаруживает ее наиболее слабые звенья и создает необходимую базу для ее перестройки.

В плане логики исторического развития квантовой электродинамики работы Ландау и Пайерлса подготовили вывод о неприменимости идеализаций поля в точке в квантово-релятивистской области и тем самым указывали пути перестройки первоначальной теоретической модели квантованного электромагнитного поля. Решающий же шаг в этом направлении был сделан Н.Бором. Этот шаг был связан с отказом от применения классических компонентов поля в точке в качестве наблюдаемых, характеризующих поле как квантовую систему, и заменой их новыми наблюдаемыми — классическими компонентами поля, усредненными по конечным простран-

венно-временным областям. Показательно, что эта идея возникла при активной роли философско-методологических размышлений Бора о принципиальной макроскопичности приборов, посредством которых наблюдатель как макроскопическое существо получает информацию о микрообъектах. Как следствие этих размышлений возникла идея о том, что пробные тела, поскольку они являются частью приборных устройств, должны быть классическими макротелами. Отсюда следовало, что в квантовой теории абстракция точечного пробного заряда должна быть заменена другой абстракцией — заряженного пробного тела, локализованного в конечной пространственно-временной области. В свою очередь, это приводило к представлению о компонентах квантованного поля, усредненных по соответствующей пространственно-временной области. Такая интеграция философско-методологических рассуждений в структуру конкретного физического поиска не случайна. Она характерна для этапов формирования представлений о принципиально новых типах объектов науки и методах их познания.

В результате всех этих процедур в квантовой электродинамике возникла новая теоретическая модель, которая призвана была обеспечить интерпретацию уже созданного математического аппарата. Отмеченный ход исследования, при котором аппарат отклоняется от неадекватной модели, а затем соединяется с новой теоретической моделью, характерен для современного теоретического поиска. Заново перестроенная модель сразу же сверяется с особенностями аппарата (в истории квантовой электродинамики эта операция была произведена Н. Бором; она показала, что в аппарате классические величины полей в точке имеют только формальный смысл, тогда как однозначным физическим смыслом обладают только классические величины полей, усредненных по конечной пространственно-временной области). Согласованность новой модели с математическим аппаратом является первым свидетельством ее продуктивности, но тем не менее не выводит новую теоретическую конструкцию из ранга гипотезы. Для этого нужно еще эмпирическое обоснование модели, которое производится путем конструктивного введения ее абстрактных объектов. Средством, обеспечивающим такое введение, являются процедуры идеализированного эксперимента и измерения, в которых учи-

мерения, в которых учитываются особенности реальных экспериментов и измерений, обобщаемых новой теорией. В истории квантовой электродинамики указанные процедуры были осуществлены Н. Бором и Л. Розенфельдом. Не имея возможности в рамках данной статьи детально изложить измерительные процедуры Бора — Розенфельда⁷, отметим лишь те их особенности, которые важны в методологическом и гносеологическом отношении. Прежде всего важно обратить внимание на метод и структуру измерительных процедур Бора — Розенфельда. Они создавались путем последовательного движения от теоретической модели к конкретной схеме возможного реального эксперимента и от нее обратно к теоретической модели. Вначале в соответствии с особенностями тех признаков абстрактных объектов, которые подлежали эмпирическому обоснованию, предполагалась весьма общая и абстрактная схема идеализированного измерения.

Затем от “общих контуров” идеализированной измерительной процедуры Бор и Розенфельд продвигались к ее конкретизации, добиваясь того, чтобы во всех своих деталях мысленный эксперимент мог предстать в качестве схемы реальных экспериментов и измерений, производимых над квантоворелятивистскими объектами. Для этого выявлялись все теоретически допустимые воздействия, которые могли оказать на импульс пробного тела измеряемое квантованное поле и прибор-регистратор. Обнаруживая такие воздействия, Бор и Розенфельд шаг за шагом показывали, как элиминировать их за счет введения в идеализированную измерительную установку различных компенсационных устройств.

После этого рассматривался процесс взаимодействия представленных в мысленном эксперименте идеальных приборных устройств с измеряемым квантованным полем и выявлялись характеристики поля. Они сравнивались с теми характеристиками, которые постулировала теоретическая модель. Совпадение признаков, полученных двумя отмеченными способами, доказывало, что проверяемая теоретическая модель является адекватным отображением квантовых особенностей электромагнитного поля.

Таким путем решалась главная задача теоретического поиска на этапе интерпретации математического формализма теории — признаки абстрактных объектов теоретической модели

обосновывались существенными особенностями реальных экспериментов и измерений. В теории появлялись рецепты (операциональные определения), которые связывали физические величины, соответствующие этим признакам, с реальным опытом.

Необходимость развивать и уточнять процедуры идеализированного измерения до тех пор, пока в них не будут сосредоточены существенные особенности реальных экспериментов, обеспечивающих изучение соответствующего объекта, Н. Бор часто выражал в форме требования принципиальной контролируемости взаимодействий объекта и прибора.

Рациональное зерно в этом требовании сводилось к тому, что всякое реальное измерение действительно предполагает особый подбор условий, при которых устранялись бы (или учитывались) возмущающие внешние воздействия, искажающие реальные значения измеряемой величины. Возможность элиминировать такие воздействия, либо учесть их посредством введения соответствующих поправок означает, что познающий субъект контролирует условия измерения.

Поскольку мысленные эксперименты и измерения должны быть идеализацией реальной экспериментально-измерительной деятельности, постольку в них исследователь также должен исчерпывающим образом выявить условия измерения, поддающиеся контролю. С этих позиций он обязан тщательно проверять, опираясь на уже известные теоретические законы, последствия каждой новой детали в мысленной схеме приборного устройства и одновременно соотносить данную схему с реальными возможностями опыта. В процессе построения идеализированных процедур измерения исследователь шаг за шагом обнаруживает те мысленно фиксируемые взаимодействия объекта с приборами, которые могут приводить к неопределенностям в значении величин, характеризующих объект. Выявив такие взаимодействия, он проверяет, не относятся ли они к тем возмущающим влияниям приборной установки, которые могут быть устранены за счет ее нового уточнения и применения компенсирующих устройств.

Исчерпывая возможности контроля за условиями измерения, исследователь за счет этого как раз и обеспечивает максимальное соответствие идеализированных измерений возможностям реальной экспериментально-измерительной деятельно-

сти. Если при этом сохраняются неопределенности величин, призванных характеризовать объект, то такие неопределенности следует отнести уже к существенным характеристикам самого объекта.

В этом смысле все, что принципиально не поддается контролю в рамках идеализированных измерений, обоснованных в качестве схемы реального опыта, должно быть включено в особенности измеряемого объекта, и это будут его объективные признаки, поскольку сама процедура измерения оказывается построенной таким образом, что она выявляет объективные характеристики исследуемой реальности.

Требования контролировать условия взаимодействия измеряемого объекта и прибора были идентичны у Н. Бора требованиям построить идеализированные измерения, максимально сближая их с реальными особенностями физического эксперимента. Тогда существенные характеристики объекта, которые могли быть выявлены в рамках реальной экспериментальной практики, должны были найти выражение в результатах идеализированных измерений. Этим методом Бор пользовался не только в процессе обоснования аппарата квантовой электродинамики. Знаменитые дискуссии Бора и Эйнштейна по проблеме квантово-механических измерений также могут служить иллюстрацией эффективности указанного метода.

Выявляя объективные характеристики изучаемой реальности, идеализированные измерения не только обеспечивают эмпирическое обоснование теоретических моделей, но и наполняют их новым физическим содержанием, что приводит к развитию концептуального аппарата теории. Можно показать, что процедуры Бора — Розенфельда не только сформировали эмпирическую интерпретацию уравнений, но и открыли новые аспекты “микроструктуры” электромагнитных взаимодействий. Так, например, одним из важнейших следствий этих процедур было обоснование неразрывной связи между квантованным полем излучения и полем вакуума. Известно, что в исходном пункте идея вакуума возникла благодаря применению методов квантования к электромагнитному полю (из аппарата теории следовало, что квантованное поле обладает энергией в нулевом состоянии при отсутствии фотонов).

Но все дело в том, что до обоснования положения об измеримости поля было совершенно неясно, можно ли придать

вакууму реальный физический смысл или же его следует принимать только как вспомогательный теоретический конструкт, не имеющий такого смысла. Энергия квантованного поля в нулевом состоянии оказывалась бесконечной, и это склоняло физиков ко второму выводу. Считалось, что для непротиворечивой интерпретации квантовой электродинамики вообще следует как-то исключить “нулевое поле” из “тела” теории (такая задача выдвигалась, хотя и было неясно, как это сделать, не разрушая созданного аппарата). Кроме того, Ландау и Пайерлс связали идею вакуума с парадоксами неизмеримости, и в их анализе поле вакуума уже фигурировало как одно из свидетельств принципиальной неприменимости квантовых методов к описанию электромагнитного поля. Но Бор и Розенфельд в процессе анализа измеримости поля показали, что определение точного значения компонентов поля может быть осуществлено лишь тогда, когда в такие значения включаются как флуктуации, связанные с рождением и уничтожением фотонов, так и неотрывные от них нулевые флуктуации поля, возникающие при отсутствии фотонов и связанные с нулевым энергетическим уровнем поля⁸. Из процедур Бора — Розенфельда следовало, что если убрать поле вакуума, то само представление о квантованном электромагнитном поле не будет иметь эмпирического смысла, поскольку его усредненные компоненты неизмеримы. Тем самым процедуры Бора — Розенфельда придали полю вакуума реальный физический смысл.

Таким образом, понятийный аппарат современной теории формируется в результате взаимодействия математического формализма теории и его интерпретации. Благодаря этим взаимодействиям происходит формирование новых физических понятий.

Об особенностях исторического развития методов теоретического исследования

Если глобально рассматривать все основные вехи развертывания процедур Бора — Розенфельда, то обнаруживается, что интерпретация аппарата квантованного электромагнитного поля была лишь первым этапом таких процедур. На этом этапе был интерпретирован аппарат квантованного поля, не взаимо-

действующего с источниками. Но затем Бор и Розенфельд проанализировали возможность построения идеализированных измерений для источников (распределений заряда-тока), взаимодействующих с квантованным полем излучения⁹

Была доказана измеримость классических источников, взаимодействующих с квантованным электромагнитным полем, а затем осуществлено доказательство измеримости источников поля с учетом рождения электронно-позитронных пар. Тем самым была завершена интерпретация математического аппарата квантовой электродинамики, описывающего как свободные квантованные поля, так и их взаимодействия в первом приближении теории возмущений.

Чрезвычайно характерно, что такой путь построения интерпретации воспроизводил на уровне содержательного анализа основные вехи исторического развития математического аппарата квантовой электродинамики.

При этом не была пропущена ни одна существенная промежуточная стадия его развития (логика построения интерпретации совпадала в основных чертах с логикой исторического развития математического аппарата теории).

С этих позиций интересно сравнить взаимодействия математического аппарата и теоретических моделей в современной и классической ситуациях построения научной теории.

В классической физике исследование шло таким путем, что каждый шаг в развитии аппарата теории подкреплялся построением и обоснованием адекватной ему теоретической модели. Движение к обобщающим уравнениям теории направлялось и корректировалось построением интерпретации на каждом промежуточном этапе. Примером тому может служить история классической механики и термодинамики, а также история классической электродинамики, включая максвелловскую теорию электромагнитного поля¹⁰

При формировании современной теории стратегия теоретического поиска изменилась. Математический аппарат достаточно продолжительное время может строиться без эмпирической интерпретации.

Тем не менее при осуществлении такой интерпретации исследование в сжатом виде как бы заново проходит все основные этапы становления аппарата теории. В процессе построения квантовой электродинамики оно шаг за шагом перестраи-

вало сложившиеся гипотетические модели и, осуществляя их конструктивное обоснование, вводило промежуточные интерпретации, соответствующие наиболее значительным вехам развития аппарата. Завершением этого пути было прояснение физического смысла обобщающей системы уравнений квантовой электродинамики.

Таким образом, метод математической гипотезы отнюдь не отменяет необходимости содержательно-физического анализа, соответствующего промежуточным этапам формирования математического аппарата теории. Специфика современных исследований состоит не в том, что промежуточные интерпретации вообще становятся излишними, а в том, что деятельность, направленная на их построение, осуществляется как непрерывный переход от одной промежуточной интерпретации к другой в соответствии с логикой развертывания сложившегося аппарата, в которой сжато воспроизводится история его развития. Если построение классической теории происходило по схеме: уравнение₁ → промежуточная интерпретация₁, уравнение₂ → промежуточная интерпретация₂ ..., обобщающая система уравнений → обобщающая интерпретация, то в современной физике построение теории осуществляется иным образом: вначале уравнение₁ → уравнение₂ и т.д., а затем интерпретация₁ → интерпретация₂ и т.д. (но не уравнение₁, уравнение₂ → обобщающая система уравнений и сразу завершающая интерпретация!). Конечно, сама смена промежуточных интерпретаций в современной физике полностью не воспроизводит аналогичных процессов классического периода. Не следует представлять дело так, что речь идет только о замене дискретного перехода от одной промежуточной интерпретации к другой непрерывным переходом. Меняется само количество промежуточных звеньев. Оно как бы уплотняется в современной физике, благодаря чему процесс построения интерпретации и развития понятийного аппарата теории протекает в кумулятивной форме.

В принципе так и должно быть, если учитывать, что в саморазвивающихся системах (к которым принадлежит и научное познание) высшие стадии эволюции всегда повторяют в своем функционировании некоторые черты исторически предшествующих форм.

О повторении на новой основе некоторых классических приемов построения теории говорит и тот факт, что в современной физике всегда возникают периоды, когда дальнейшее совершенствование математического аппарата создаваемой фундаментальной теории оказывается целиком зависящим от построения его непротиворечивой интерпретации, которая дает новый импульс для последующего математического синтеза и завершения теории.

В этом отношении история квантовой электродинамики может служить исключительно ярким примером, поскольку между третьим и четвертым этапами формирования ее аппарата лежала полоса кризиса ее оснований, вызванного обнаружением парадоксов неизмеримости. Выход из кризиса обеспечило построение Бором и Розенфельдом непротиворечивой интерпретации созданного аппарата. Только после этого стало возможным "второе рождение" квантовой электродинамики в 50-х годах, когда была построена теория перенормировок.

См.: *Мандельштам Л.И.* Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М. 1972. С. 327-329.

Во избежание недоразумений сразу же подчеркнем, что электрические и магнитные поля в точке суть идеализированные объекты, такие же, как и, допустим, материальная точка в механике. Их можно применять к описанию реальных электромагнитных взаимодействий лишь в той мере, в какой можно абстрагироваться от квантовой природы указанных взаимодействий. Если же учесть квантовые эффекты, то понятие "поле в точке" теряет смысл. Как будет показано ниже, указанная ограниченность классических идеализаций была выявлена с развитием теории квантовых полей. Такое рассмотрение правил соответствия было характерно для концепции операциональных определений П.Бриджмена в ее классическом варианте. Основные исторические стадии формирования уравнений квантовой электродинамики достаточно подробно освещены в соответствующей физической и историко-научной литературе (см., например: *Венцель Г.* Квантовая теория полей // Теоретическая физика XX века. М., 1962).

⁵ См.: *Фейнман Р.* Характер физических законов. М., 1968. С. 180.

⁶ См.: *Ландау Л., Пайерлс Р.* Распространение принципа неопределенности на релятивистскую квантовую теорию // *Ландау Л.Д.* Собр. тр. М. 1966. Т. 1. С. 56-70.

Их детальный анализ можно найти в книге: *Степин В.С.* Становление научной теории. Минск, 1976.

См.: *Розенфельд Л.* Квантовая электродинамика // Нильс Бор и развитие физики. М., 1958. С. 105-106.

См.: *Бор Н., Розенфельд Л.* Измерение поля и заряда в квантовой электродинамике // *Бор Н.* Избр. науч. тр. М., 1971. Т. 11. С. 434-445.

¹⁰ О логике исторического развития максвелловской электродинамики в упомянутом аспекте см.: *Степин В.С., Томильчик Л.М.* История развития максвелловской электродинамики в аспекте логики научного открытия // Труды XIII Междунар. Конгр. по истории науки. М., 1974. См. также: *Степин В.С.* Становление научной теории. Минск, 1976.

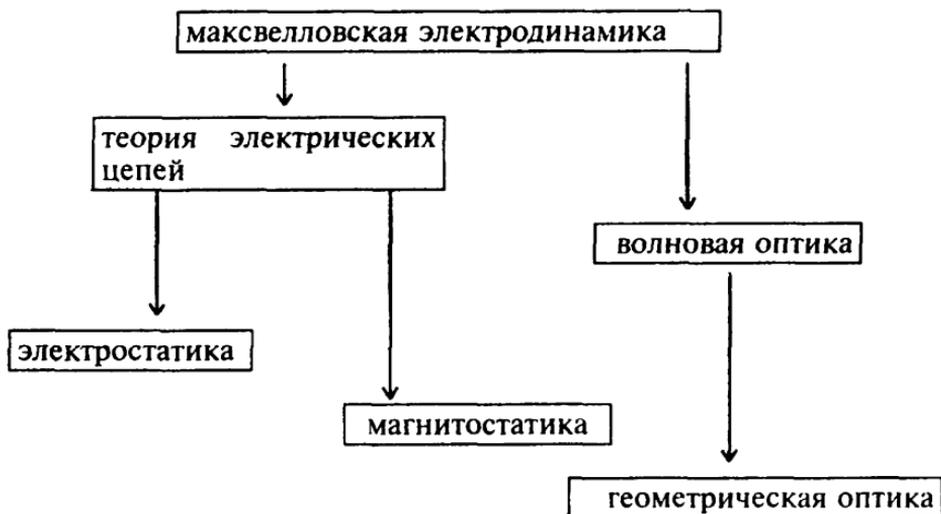
Классика, модерн и постмодерн как этапы синтеза физических теорий

По-видимому, одним из первых успешных синтезов в истории физики было объединение Дж.К.Максвеллом магнитных и электрических теорий во второй половине XIX века. Вплоть до настоящего времени не только для историков науки, но и для работающих физиков он остается не всегда достигаемым образцом. Хорошо известно, что основным требованием к теории Максвелла было создание единого способа описания различных аспектов электричества и магнетизма. Наряду с фарадеевским, полуинтуитивным, представлением об электромагнетизме как передаче электромагнитных возмущений от точки к точке в соответствии с принципом близкодействия, существовало представление об электромагнитных взаимодействиях как о мгновенной передаче сил между точечными зарядами и дифференциально-малыми элементами тока. На его основе Ампер выдвинул программу обобщения электричества и магнетизма, длительное время конкурировавшую с максвелловской. Для того, чтобы выделить “идеальную схему” максвелловского синтеза, способную послужить образцом всякого синтеза теорий, нормативной схемой развития физики, необходимо ответить прежде всего на следующий вопрос: каковы были особенности программы Максвелла, которые обеспечили ей победу над программой Ампера-Вебера?

Рациональная реконструкция истории становления максвелловской электродинамики [Tisza, 1963; Степин и Томильчик, 1976] выявляет следующие особенности.

(1) Взаимоотношения между законами электростатики (Кулон, Фарадей), магнитостатики и взаимодействия стацио-

нарных токов, электромагнитной индукции (Фарадей) в электродинамике Максвелла описываются “треугольной” схемой:



Символ обозначает дополнительные отношения между теориями. Как отмечает Ласло Тиза, основу треугольника составляют несовместимые друг с другом системы. Несовместимость систем снимается третьей системой более высокого уровня, доминирующей над частными [подробнее см.: Аршинов, 1973].

(2) Основу теории Максвелла составляет ее фундаментальная теоретическая схема (ФТС). ФТС любой развитой физической теории — это, по терминологии В.С.Степина, базисная идеальная модель, лежащая в ее основе, т.е. модель, отношения между абстрактными объектами которой описываются фундаментальными законами данной теории. Кроме ФТС в структуре всякой развитой теории имеются еще и частные теоретические схемы — ЧТС, отношения между объектами которых описываются частными законами данной теории, которые являются следствиями законов фундаментальных. Абстрактные объекты ЧТС конструируются из объектов ФТС по определенным правилам [см. подробнее Степин, 1976].

При построении максвелловской ФТС в качестве вспомогательного материала использовались не “чистые” экспериментальные данные, не “протокольные предложения наблюде-

ний”, а теоретические знания предшествующего уровня. Данные опыта учитывались Максвеллом лишь косвенно, за счет оперирования с уже разработанными данными — теоретическими схемами Фарадея, Кулона, Ампера и др. Таким образом, синтез Максвелла осуществлялся не за счет непосредственного обобщения “чистых” экспериментов, а за счет обобщения уже сформированных теоретических схем низшего уровня и превращения их в ФТС развитой научной теории.

(3) Рассматривая переход от электростатики и магнитостатики к теории электрических цепей, В.С.Степин отметил особенность, имеющую принципиальное значение для всякого синтеза несовместимых друг с другом теоретических схем. Суть ее в следующем.

Получив обобщенный закон электростатики и введя уравнение, обобщающее законы Ампера и Био-Савара, а также закон Кулона для магнитных полюсов, Максвелл оказался перед необходимостью синтеза разрозненных представлений. Синтез на основе понятия стационарной силовой линии оказался непродуктивным, и Максвелл ввел модель вихря в несжимаемой жидкости, допустив неравномерное вращение вихрей.

Теперь Максвелл может, наконец, перейти к решающему мысленному эксперименту — выводу из полученных представлений закона Био-Савара. “В начале он мысленно выстраивает магнитное поле в виде конфигурации замкнутых силовых линий, а затем устанавливает, что оно соответствует току проводимости определенной величины. Этот эксперимент не может быть проведен в реальном опыте, но он понадобился Максвеллу, чтобы доказать, что введение в модель нового абстрактного объекта — тока, помеченного по “субстанциональным” свойствам (течь по проводнику, вызывать тепловое действие и т.д.), сохраняет прежний признак тока — “вызывать магнитное поле” [Степин, 1976, с. 163].

Для нашего исследования важно то, что теоретический объект, представлявший “субстанциональные” свойства тока, и объект, характеризовавший магнитное действие тока, ранее отличались друг от друга, принадлежа разным теоретическим схемам. Синтез этих схем был произведен за счет создания такой ФТС, в которую, благодаря описанному выше мысленному эксперименту, был введен объект, объединявший “в себе” классически дополнительные свойства объектов из несовместимых ЧТС. Два разных объекта были “замещены” одним, но

не на прежнем уровне ЧТС, как у Ампера-Вебера (это привело бы к отбрасыванию “старых” объектов), а на уровне ФТС. Много позже методологический прием, использованный Максвеллом, был осознанно применен Н.Бором при построении квантовой теории атома.

Таким образом, ФТС развитой теории выступает как модель, содержащая существенные черты идеализированных экспериментов с абстрактными объектами синтезируемых теорий низшего уровня. Это обеспечивается тем, что по крайней мере один абстрактный объект ФТС обладает свойствами, которые порознь принадлежали теоретическим объектам синтезируемых теорий низшего уровня. В этом смысле такой объект является “дополнительно наблюдаемым”: его свойства ранее принадлежали разным объектам из дополнительных теоретических систем. Мы можем ввести, обобщая Принцип Общей Наблюдаемости В.П.Бранского (1973), Принцип Дополнительной Наблюдаемости.

(4) Как ФТС, так и разные ЧТС, относящиеся к развитой теории, обладают двумя неразрывно связанными друг с другом свойствами [Степин, 1976].

С одной стороны, всякая система теоретических объектов претендует на отражение наиболее существенных свойств исследуемых объектов. Так, например, ФТС ньютоновской механики выражает “сущность” механического движения в виде идеальной модели, при помощи которой вводится представление о перемещениях материальной точки в пространстве системы отсчета с течением времени и изменения под действием силы состояний движения материальной точки. Представляя движущиеся тела в качестве материальных точек или их совокупностей, мы можем описывать реальные процессы, подобные движениям планет.

С другой стороны, всякая система теоретических объектов является моделью экспериментально-измерительной практики, содержащей в снятом виде наиболее “существенные”, с ее точки зрения, черты реальной измерительной процедуры. Эта функция физической теории является, по мнению И.Хакинга, основной, обеспечивая получение в лаборатории объектов, которых в природе еще не было, объектов, которые впоследствии (транзисторы) будут массово воспроизводиться на фабриках и заводах [Hacking, 1993].

Например, ФТС ньютоновской механики, изображая механическое движение в виде перемещения материальной точки в инерциальной системе отсчета под действием сил, представляет собой мысленный эксперимент, содержащий наиболее существенные черты опытов по изучению различных сторон механического движения. ФТС ньютоновской механики является обобщением практических операций перемещения тел по наклонной плоскости, колебаний маятника, соударения тел и т.д. В частности, ЧТС механики малых колебаний выступает как модель, выражающая существенные черты экспериментов с колебаниями реальных маятников, натянутой струны и т.п. (модель осциллятора).

Эта сторона развитой теории связана с такой важной ее функцией как предсказание будущих опытов. Что обеспечивает предсказательную силу теории? За счет чего теория, не являющаяся непосредственным обобщением опытных данных, содержащая объекты, отношение которых к “реальности” проблематично, способна предсказывать результаты новых, еще никем не ставившихся экспериментов?

Как показал В.С.Степин (1976), эта возможность основана на жесткой связи между теоретическими схемами и реальными измерениями. Жесткая связь устанавливается за счет того, что всякий теоретический объект выступает в качестве характеристики отношений объектов из низшего уровня организации. Поэтому операциональное определение физической величины, связанной с теоретическим объектом из ФТС или ЧТС — это описание не реальных, а идеальных измерительных процедур. Например, операциональное определение напряженности электрического поля дается отнюдь не через описание измерений с применением реальных приборов, скажем, вольтметра или амперметра. Оно дается через описание отношений идеальных объектов теории Максвелла — электрического поля в точке и пробного заряда. Связь уровня ЧТС с уровнем реальных эмпирических схем устанавливается за счет того, что ЧТС являются идеализированными схемами изучаемых в реальных экспериментах взаимодействий. Связь между уровнями позволяет вводить соответственно новому содержанию каждого верхнего уровня объекты нижележащих уровней. Благодаря этому и удастся предсказывать результаты будущих экспериментов. Новый результат, полученный за счет совершенствования математического аппарата, тотчас же сказывается на содержании всех тео-

ретических схем. Связь ФТС и ЧТС с эмпирическим уровнем позволяет сконструировать экспериментальную установку для проверки полученного результата.

Итак, таковы четыре важнейших свойства всякого успешного синтеза в физике. Очевидно, что нарушение хотя бы одного из этих признаков должно вести к резкому падению предсказательной силы построенной теории. Скажем, долгое время конкурировавшая с программой Максвелла программа Ампера-Вебера-Неймана оказалась вытесненной с арены физики XIX века именно потому, что она была редукционистской, т.е. нарушала свойства (1) — (4). Она пыталась свести все имевшиеся теоретические схемы Ампера, Био-Савара и т.д. к объектам одной из них, вместо того, чтобы сконструировать глобальную идеальную теоретическую схему — модель высшего уровня [подробнее см. Нугаев, 1989].

Максвелловские методы объединения относятся к классическому этапу эволюции физики, когда ФТС конструировалась за счет постепенного объединения ЧТС. Характерная фигура классической эпохи — романтический образ Супермена, способного начать и завершить весь процесс синтеза в постоянном контакте с опытными данными.

Эпоха модернизма в физике характеризуется вкладом Альберта Эйнштейна в создание специальной и общей теорий относительности. Специальная теория относительности (СТО) возникла на “стыке” классической механики, термодинамики и максвелловской электродинамики и тесно связана с работами Эйнштейна по световым квантам [см. Нугаев, 1985]. Не случайно работа по СТО была опубликована через два месяца после работы по фотонам. Обе эти работы 1905 г. характеризовались взаимопроникновением статистической механики и термодинамики (исследования Гиббса и Эйнштейна по “статистической термодинамике”), статистической механики и электродинамики (рассмотренные М.Планком понятия температуры и энтропии излучения), механики и электродинамики (принцип относительности, корпускулярная теория света).

Одну из целей Эйнштейна — объединение механики и электродинамики — осознавали и его современники. В Немецком Университете в Праге собирался уйти на пенсию Фердинанд Липпих, профессор математической физики, и его преемник должен был начать курс лекций в апреле 1911 г. На своем заседании ученый совет философского факультета уни-

верситета попросил трех своих членов — профессоров экспериментальной физики, математики и физической химии — представить список возможных кандидатов. “Подчеркивая, что основной вопрос современной физики — как объединить механику с электромагнетизмом — комитет не жалел усилий для отбора исследователей, которые уже сделали вклад в решение этой проблемы” [Ilyu, 1979, с. 76]. В апреле комитет предложил три кандидатуры. И на первом месте в списке стояла фамилия Альберта Эйнштейна.

Наряду с Эйнштейном М.Планк был одним из первых физиков, понявших необходимость исследования взаимоотношений между статистической физикой, термодинамикой и максвелловской электродинамикой. И именно его первая квантовая теория была результатом взаимодействия этих основных фундаментальных теорий второй половины XIX века. До 1900 г. Планк успел получить основательные результаты в каждой из них. И его знаменитые и подтвержденные экспериментально результаты были получены в результате попыток объединить эти фундаментальные теории. “Наибольшее впечатление производила не точность планковской теории. Скорее, это было то, что он вообще получил какие-то результаты в этой области. Может быть, даже и помимо своей воли, Планк нашел конкретное, количественно выражаемое звено между электромагнитной теорией, с одной стороны, и свойствами электронов и атомов, с другой. В конце прошлого века поиск таких законов был наиболее активной, будоражащей и рискованной областью физических исследований” [Kuhn, 1978, с. 112].

Первая квантовая теория Нильса Бора также лежала в русле синтеза фундаментальных физических теорий конца XIX века. “Современная теория квантов, созданная датским физиком Нильсом Бором, представляет собой новую систему динамики, которая является своего рода компромиссом между классической системой ньютоновской механики и сменившей ее в начале текущего столетия системой электродинамики Максвелла-Лоренца-Эйнштейна. Для уяснения сущности теории квантов необходимо поэтому рассмотреть те противоречия между классической механикой и классической электродинамикой, которые она стремится примирить” [Френкель, 1923, с. 3].

Согласование СТО и ньютоновской теории гравитации привело к созданию ОТО [подробнее см. Нугаев, 1989]. Несмо-

тря на то, что вершиной модернистской физики было создание квантовой электродинамики, процесс синтеза, начатый Эйнштейном, все еще не завершен. “Мне кажется, что мы должны сказать, что проблема согласования квантовой теории и теории относительности не решена” [Dirac, 1973, с. 11]. И это, конечно, не случайно, а выражает сам дух модернистского подхода к синтезу. Он состоит не только в том, что в модернистской физике фигура Классика заменяется фигурой Революционера, смело рвущего оковы классического мышления. Как и в искусстве, модернизм в физике характеризуется не только разрывом с классическими формами, но и констатацией разорванности, противоречивости сознания. В модернизме исчезает завершенное единство классического произведения, гармоническое слияние всех частей в единое целое: фрагментарность становится основным принципом художественной формы. Неслучайно, что ни специальная теория относительности, ни первая квантовая теория Бора не добились окончательного и завершенного синтеза механики и электродинамики, но лишь *компромисса* между ними. В случае Эйнштейна несомненно влияние Эрнста Маха с его принципиальной антиметафизической позицией и скепсисом (“глубоким скепсисом”, по выражению Эйнштейна) по отношению к “единственно верной картине природы” Тень Маха витает на страницах классических статей 1905 года, выражаясь в упорном нежелании вставать на сторону какой-либо одной (механической или электромагнитной) из господствующих картин мира и в несравненном мастерстве в достижении компромисса между ними. Тут можно вспомнить крылатое выражение Эйнштейна о том, что современный физик является оппортунистом в философии, пытаясь эклектически в своем творчестве сочетать различные исключаящие друг друга философские позиции — от позитивизма до математического реализма.

Для модернизма характерен метод математической гипотезы, когда исследователь старается угадать фундаментальные уравнения теории с помощью таких регулятивных принципов как Симметрия, Простота, Красота и т.д. И только после установления базисных законов пытаются дать им эмпирическое обоснование — за счет отнесения теоретических объектов ФТС к объектам низлежащих теорий. Наиболее выразительный пример — это, конечно, создание квантовой электродинамики с ее процедурами Бора — Розенфельда.

Тем не менее эпоха модернизма в физике завершилась с окончанием второй мировой войны, когда пропасть между теоретическими и экспериментальными исследованиями стала особенно глубокой. Это убедительно показано как в исследованиях историков науки [см., например, Galison, 1987], так и в работах социологов науки [Pickering, 1984]. Неслучайно именно к этому периоду относят становление теоретической физики как массовой профессии. В частности, указанный разрыв выразился в относительно независимом развитии физики высоких энергий. Теоретическая научная литература, в полном соответствии с постмодернистскими стандартами Мишеля Фуко и Ролана Барта, стала развиваться по своим собственным законам, во многих отношениях независимым от законов развития физики экспериментальной. Согласно Фуко, в новейшей литературе язык чем дальше, тем больше замыкается на самом себе, обнаруживает свое самостоятельное бытие. “Точно так же и язык изменяется не столько переселениями, торговлей и войнами, не столько по воле событий, которые случаются с человеком или измышляются им, сколько под влиянием специфических условий, составляющих его фонетические или грамматические формы: если и можно сказать, что различные языки рождаются, живут, слабеют в старости и в конце концов умирают, то эта биологическая метафора вовсе не означает растворения истории языков во времени жизни, скорее подчеркивает, что и они также имеют внутренние законы функционирования и что их хронология разворачивается сообразно времени, которое выявляет прежде всего их собственную связность” [Фуко, 1994, с. 386].

Все три основные стадии постмодернистской физики — электрослабая теория Салама-Вайнберга, квантовая хромодинамика и “теории Великого Объединения”, а также суперсимметричные теории — могут быть описаны как последовательные и все более и более значительные отклонения от классических правил синтеза (1) — (4), описанных ранее. Даже объединение Саламом, Вайнбергом и Глешоу слабого и электромагнитного полей, сравнительно невинное по сравнению с головокругительными спекуляциями суперсимметричных моделей, было успешным только в достаточно узкой эмпирической области. Простая конъюнкция введенного “руками” механизма Хиггса с ранними электрослабыми калибровочными моделями вела к падению предсказательной силы теории. Многие из

предсказаний были по сути дела гипотезами ad hoc [см., например, Pickering, 1984].

Что касается квантовой хромодинамики, то следующие цитаты являются в этом случае особенно красноречивыми. “В настоящее время модно всему приклеивать ярлык: предсказано квантовой хромодинамикой. На самом же деле, наряду с благоприятными предсказаниями, у нас имеется еще нерешенная проблема конфайнмента, а также у нас нет точных квантовохромодинамических результатов в адронной спектроскопии” [Heu, 1979].

Или, в еще более сильном виде: “Использование квантовой хромодинамики для изучения адронного мира стало непреодолимой тенденцией в физике частиц... Судя по всему, впервые в истории физики теория, которая не только точно не определена, но и даже не имеет право на существование как самосогласованная теория, стала такой популярной” [Dokshitzer, Dyakonov, Troyan, 1979].

Единственное серьезное предсказание теорий Великого Объединения включало смешанный электрослабый угол. $BSU(5)$ модели Джорджи и Глешоу значение сначала равнялось $3/8$. Однако эксперименты показали, что это значение равняется $0,23$. Поэтому “некоторая дополнительная теоретическая работа” понадобилась для сведения концов с концами, пока героические усилия 1974-1979 годов не уменьшили число эпициклов до $0,20$.

В этой связи особенно характерна статья американского физика-теоретика, специалиста в области физики высоких энергий Мартина Гутцвиллера, опубликованная в передовице органа американского физического общества журнале “Физика сегодня” в августе 1994 г. Отмечая состояние физики элементарных частиц как “кризис”, автор выносит в заголовок статьи вопрос: выполнила ли эта область физики обещания, данные ее основателями 45 лет назад?

“Несмотря на все обещания, физика элементарных частиц превратилась в кошмар, несмотря на ряд глубоких интуитивных прозрений, которые мы эксплуатировали некоторое время. Неабелевы поля известны 40 лет, четность была нарушена 356 лет назад, кварки наблюдались 25 лет назад, а гармоний — открыт 20 лет назад. Но все чудесные идеи привели к моделям, которые зависят от 16 открытых параметров... Мы даже не можем установить прямые соответствия с массами элементарных

частиц, поскольку необходимая для этого математика слишком сложна даже для современных компьютеров!.. Но даже когда я пытаюсь читать некоторые современные научные статьи или слушаю доклады некоторых моих коллег, меня не оставляет следующий вопрос: имеют ли они контакт с реальностью? Разрешите мне в качестве примера привести антиферромагнетизм, который снова популярен после открытия сверхпроводящих медных окислов. Сверхизошренные модели антиферромагнетизма были предложены и разработаны чрезвычайно тщательно людьми, которые ни разу не слышали, да и слышать не хотят о гематите или о том, что, как каждый знает, называется ржавым гвоздем” [Gutzwiller, 1994, с. 10-11].

Что же касается теорий суперсимметрии, то в этой области полностью отсутствуют какие-либо экспериментальные результаты. Все это хорошо известно, но обычно приводятся контраргументы типа: это положение — временное, вызванное несовершенствами измерительной техники [см., например, обзор Арефьевой и Воловича, 1985, с. 655]. Необходимость перехода от теорий Великого Объединения к теориям суперсимметрии была вызвана тем, что первые встречались с рядом проблем, включавшим необходимость объяснять огромное различие в масштабах масс электрослабого взаимодействия, произвол в выборе калибровочной группы, большое число произвольных параметров для описания хиггсовских бозонов. Решение первой проблемы требовало введения идей глобальной суперсимметрии и ее нарушения в суперсимметрии локальной, т.е. в супергравитации. Но и эта теория имеет свои проблемы: она не является перенормируемой и имеет еще больше свободных параметров, чем теория Великого Объединения. Поэтому в работах Шерка и Шварца, исходивших из струнных дуальных моделей в квантовой хромодинамике, возродилась фантастическая идея Калуцы о пространствах с большим числом измерений, реализованная в теории суперструн [подробнее см. Грин, Шварц и Виттен, 1990]. Шварц и Грин построили теорию суперструн, которая стала претендовать на роль единой теории элементарных частиц и гравитации, поскольку в низкоэнергетическом пределе она переходит в суперсимметричную теорию Янга и Миллса, которая для замкнутых безмассовых струн переходит в супергравитацию в пространстве-времени с размерностью равной 10. Важнейшее свойство суперструнных теорий — отсутствие ультрафиолетовых расходимостей, что физи-

чески понятно, поскольку мы имеем дело не с точечными, а с протяженными объектами. Таким образом, теория суперструн основывается на следующих основных идеях.

(1) На идее нелокальности базисных теоретических объектов.

(2) На том, что переносчики взаимодействий не могут рассматриваться в качестве точечных объектов.

(3) На идее Калуцы-Клейна о многомерности пространства-времени.

Конечно, (1) — (3) не могут рассматриваться в качестве принципов метафизического или даже физического характера, лежащих в основе теории суперструн. Последняя была построена методом “проб и ошибок”

Как отмечается [см., например, Грин, Шварц, Виттен, 1990, с. 37], теории Янга-Миллса и общая теория относительности основаны на фундаментальных физических и математических концепциях, таких как локальная симметрия, связность, кривизна, риманова геометрия и т.д. Эйнштейн сначала установил концепции, на которых должна быть основана теория гравитации, а затем и построил самую теорию. Но с теорией суперструн произошло все наоборот.

Именно это обстоятельство оказывается ключевым для оценки логической структуры теории суперструн, исходя из четырех сформулированных выше критериев. Идеи (1) — (2) теории суперструн представляются весьма разумными для взаимного сокращения бозонных и фермионных расходимостей и для согласования, по крайней мере в первом приближении, теории гравитации с квантовой теорией поля. Наибольшее сомнение вызывает третье свойство — введение дополнительных размерностей. Их введение для включения, охвата дополнительных калибровочных полей носит крайне формальный характер. Как отмечает один из авторов теории суперструн, “в отличие от известных ранее теорий, в теории суперструн отсутствует возможность подгонки параметров для согласования с экспериментом” [Грин, 1986, с. 578]. Формально — да, но по существу роль параметров подгонки играют дополнительные размерности пространства-времени. “Теперь мы знаем, что нужно объединить не только гравитацию и электромагнетизм. Удовлетворительная единая теория должна включать и многое другое. На самом деле пяти измерений недостаточно; может

быть, нам удастся это сделать, располагая десятью? [Грин, Шварц, Виттен, 1990, с. 27].

Образцом для объединения всех взаимодействий в теории суперструн является, таким образом, теория Калуцы-Клейна, объединившая в 5-мерном пространстве-времени теорию Максвелла и теорию Эйнштейна. Как хорошо известно, в статье, опубликованной в 1921 г., Теодор Калуца предложил способ объединения общей теории относительности и теории электромагнитного поля Максвелла на основе гипотезы, что наш мир представляет собой 5-мерное пространство-время. В пятом измерении Калуца увидел возможность отождествить возникающие геометрические величины — компоненты метрического тензора и символы Кристоффеля — с электромагнитными потенциалами. При этом из пятимерных уравнений Эйнштейна вытекают интересные следствия [так называемые “чудеса Калуцы”: подробнее см. Владимиров, 1989].

1. Если записать 5-мерные уравнения геодезических, то 4 из них совпадут с известными в 4-мерной теории уравнениями движения заряженных частиц в гравитационном и электромагнитном полях.

2. 5-мерные уравнения Эйнштейна распадаются на систему из 10 обычных уравнений Эйнштейна в 4 измерениях, на систему из 4-мерных уравнений Максвелла и уравнение для скалярной компоненты.

3. В получающихся 4-мерных уравнениях Эйнштейна автоматически возникает справа источник гравитационного поля, который в точности равен тензору энергии-импульса электромагнитного поля.

Несмотря на ряд потрясающих совпадений, теория Калуцы не может считаться подлинным синтезом гравитации и электромагнетизма в силу следующих причин.

(а) “Чудеса” Калуцы появляются на свет божий не сразу, не однозначно, а при помощи ряда искусственных допущений, наиболее очевидным из которых является так называемое “условие цилиндричности”: требование независимости метрического тензора от пятой координаты.

(б) Неясен физический смысл пятой координаты.

(в) Непонятно, почему пятое измерение остается ненаблюдаемым.

Как метко замечал Эйнштейн: “Среди соображений, которые заставляют усомниться в этой теории, на первом месте

стоит следующее: вряд ли разумно заменять 4-мерный континуум на 5-мерный и затем искусственно налагать ограничение на одно из этих пяти измерений с тем, чтобы объяснить, почему оно не проявляет себя физически” [цит. по работе Владимира, 1989, с. 70].

(г) Но самым важным, на наш взгляд, недостатком теории Калуцы, не позволяющим ей претендовать на роль истинного синтеза, является то, что в ней получено чисто формальное единство гравитации и электромагнетизма. Это означает, что “14 оставляемых в теории уравнений строго совпадают с уже известной системой из десяти 4-мерных уравнений Эйнштейна и четырех уравнений Максвелла. В такой теории не содержится ничего нового; из нее (в таком усеченном виде) не следовало никаких новых предсказаний, которые можно было бы подтвердить или опровергнуть экспериментально” [Владимиров, 1989, с. 71].

Таким образом, используя метод Калуцы-Клейна, мы можем объединить гравитацию с любым физическим выдуманым нами полем с самыми фантастическими свойствами — достаточно добавить столько измерений, сколько симметрий имеется у поля. Аналогично мистики XIX века умудрялись помещать ад в четвертое измерение. Теория Калуцы-Клейна представляет в лучшем случае фундамент для рассмотрения гравитации наряду с физическими полями, но она ничего не говорит об их взаимодействии.

В силу того, что в теориях суперструн объединение гравитации и других физических полей происходит по типу теорий Калуцы-Клейна [см., например, Чува, 1985, с. 867], все описанные выше недостатки этих теорий и прежде всего формальный характер объединения переносятся и в эту область. Далее, конечно же, остается необъясненным, почему наблюдаемая размерность пространства равна 4, каковы радиусы компактификации, чем определяются низкоэнергетические параметры теории, и многое другое. Бесконечное число измерений пространства-времени, которые могут быть введены для описания все новых и новых полей, позволяет предположить, что в будущем нас ждут все новые и новые “открытия” в прекрасном новом мире теорий суперсимметрии и суперструн.

Литература

1. *Арефьева И.Я., Волович И.В.* Суперсимметрия: теория Калуцы-Клейна, аномалии, суперструны // *Успехи физ. наук.* 1985. Т. 146, вып. 4. С. 655-681.
2. *Аршинов В.И.* Уровни в структуре физического знания // *Филос. науки.* 1973. № 6. С. 51-60.
3. *Бранский В.П.* Проблема синтеза релятивистских и квантовых принципов. Л., 1973. С. 176.
4. *Владимиров Ю.С.* Пространство-время: явные и скрытые размерности. М. 1989. С. 191.
5. *Грин М.* Теории суперструн в реальном мире // *Успехи физ. наук.* 1986. Т. 150, вып. 4. С. 577-579.
6. *Грин М., Шварц Дж., Виттен Э.* Теория суперструн: В 2 т. М. 1990. С. 518, 656.
7. *Нугаев Р.М.* Реконструкция процесса смены фундаментальных научных теорий. Киев, 1989. 208 с.
8. *Степин В.С., Томильчик Л.М.* История формирования основных идей максвелловской электродинамики (логико-методол. анализ). Минск, 1976.
9. *Степин В.С.* Становление научной теории. Минск, 1976. 319 с.
10. *Френкель Я.И.* Принципы квантовой динамики Бора // *Новые идеи в физике.* Ч. 2: Строение атома. Пг 1923.
11. *Фуко М.* Слова и Вещи. Археология гуманитарных наук. СПб., 1994. 406 с.
12. *Chyba S.* Kaluza-Klein unified field theory and apparent four-dimensional space-time // *American J. of Physics.* 1985. Vol. 53, № 9. P. 863-872.
Dirac P.A.M. Development of the Physicist's Conception of Nature // *J. Mehra (ed.) The Physicist's Conception of Nature.* D.Reidel, Dordrecht-Boston, P. 1-14.
13. *Dokshitzer Yu. L., Dyakonov D.I., Troyan S.I.* Hard Processes in Quantum Chromodynamics // *Physics Reports.* 1979. Vol. 58. P. 269-395.
14. *Galison P.* How Experiments End. Chicago: The Univ. of Chicago Press. 330 p.
15. *Gutzwiller M.* Two Questions Physics Can No Longer Avoid // *Physics Today.* 1994. Aug., part 1. P. 9-11.
16. *Hacking L.* Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science. Cambridge Univ. Press, 1993. 287 p.
17. *Hey A.J.G.* Particles Systematics. Elementary Particles Studies. P 523-546.
18. *Ily J.* Albert Einstein in Prague // *Isis.* 1979. Vol. 70. P. 76-84.
19. *Kuhn Th.* Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity. 1894-1912. Oxford; N. Y., 1978. P 356.
20. *Nugayev R.* The History of Quantum Theory as a Decisive Argument Favouring Einstein over Lorents // *Philosophy of Science.* 1985. Vol. 52. P. 44-63.
21. *Pickering A.* Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics. Chicago: The Univ. of Chicago Press, 1984. P. 468.
22. *Tisza L.* The Conceptual Structure of Physics // *Rev. of Modern Physics.* 1963. Vol. 35. P. 151-185.

Новые экспериментальные и теоретические основания современных поисков единства научного знания

Совершенно неожиданный результат развития физической науки в самые последние годы — экспериментальная проверка некоего новейшего обобщения принципа единства научного знания, опытные поиски того, как конкретно наиболее просто “устроенные” элементарные частицы — фотоны — связаны с такими “высшими” и наиболее универсальными характеристиками и “способностями” Бытия, его атрибутами, как Протяженность и Познание¹. Это стало возможным только благодаря феноменальному развитию в последние годы утонченной техники лазерно-оптического эксперимента, позволяющего осуществить весьма точные, количественные опыты буквально с одним-единственным фотоном во всей используемой установке. Это можно считать очень поздним, но и совершенно блестящим подтверждением постоянного и настойчивого многолетнего интереса нашего выдающегося ученого С.И.Вавилова к именно такого рода экспериментам, однако нас здесь прежде всего будут интересовать некоторые более обобщенно-философские аспекты таких новейших однофотонных опытов.

Они позволяют снова рассматривать “лидера” современного естествознания — физику — не просто как одну из рядовых естественнонаучных дисциплин (как это имело место весь XIX век), а снова вернуть ей некогда утерянную славу “экспериментальной философии”, — как она трактовалась во времена Декарта, Лейбница и Ньютона. И это — в эпоху просто фантастического прогресса и конкретных наук о природе и конкретных наук об обществе, когда, казалось бы, старые философские дискуссии XVI—XVII веков о принципах разделе-

ния “субстанций протяженных” и “субстанций мыслящих” могут интересовать уже только историков (науки и философии). Однако, оказывается, принципы эти, лежащие в самом фундаменте всего западного миропонимания, требуют в наши дни некоего фундаментального уточнения, а возможно, и радикального пересмотра в направлении, указанном еще великим энциклопедистом Дени Дидро.

Эксперимент Л.Мандела² с сотрудниками прямо использует каноническую для понятийного аппарата квантовой теории схему с полупрозрачной для фотонов (полупосеребрянной) пластинкой-светоделителем, дающем 50% вероятности прохождения (или отражения) падающего на него каждого фотона. Схема эта, как известно, лежит в основе всех дальнейших концептуальных конструкций еще в классической книге П.Дирака “Принципы квантовой механики” (играющей в современной физике, укажем в скобках, роль, аналогичную роли ньютоновых “Принципов” в прошлые столетия). Два зеркала направляют образованные фотонами лучи параллельно друг другу на две совершенно одинаковые линзы — нелинейные оптические преобразователи (из иодата лития), превращающие каждый из фотонов в пару — сигнальный и дополнительный, — когерентные, но вдвое меньшей энергии (и соответственно частоты).

Понижающие линзы-преобразователи расположены так, что оба дополнительных луча (от верхнего, скажем, и нижнего преобразователя) соединяются вместе в один (в нижнем преобразователе, пройдя который идут к своим детекторам). Сигнальные же лучи с помощью зеркал направляются к своим детекторам, перед которыми может происходить их интерференция, поскольку все они — когерентны. Тем самым мы создаем для фотонов топологически не тривиальное пространство “их жизни” — оптическую конфигурацию их путей, которая принципиально не позволяет определить — в силу законов мира квантов, по какому из путей — верхнему или нижнему — прошел данный сигнальный фотон после полупосеребрянной пластинки-светоделителя. Более того, каждый из них будет также еще — как волна уже — идти сразу обоими путями, поскольку чуть-чуть меняя положение сигнальных детекторов (удаляя их или приближая по лучу), мы получим типичную интерференционную картину “гребней” и “впадин” в соответствующих отсчетах. Тем самым увеличивая (или уменьшая) расстояние, которое должны пройти сигнальные волны, мы можем добить-

ся, чтобы они приходили к детекторам или “в фазе” или “в противофазе” До сих пор все соответствовало классическому понятийному анализу глубинной природы элементарных квантовых процессов в книге Дирака. Но установка Л.Мандела идет дальше классических опытов, позволяя сделать интересную вещь: впервые в мировой физической науке она позволяет уже в ходе эксперимента довольно радикально изменить топологию пространства, в котором “обитают” наши фотоны. Для этого, например, достаточно непрозрачным экраном перекрыть путь к детекторам нижним дополнительным фотонам.

И тогда именно происходит перед нами чудо “элементарного познания”: сигнальные и дополнительные фотоны, в определенный момент времени излученные своими нелинейными преобразователями, более никогда ведь не встретятся — они направляются к совершенно разным детекторам, не имея ни малейшей возможности непосредственно воздействовать друг на друга. Тем не менее интерференционная картина сигнальных фотонов сразу исчезнет, если только одна группа дополнительных фотонов не дойдет до своих детекторов. А почему? Что же происходит в таком случае? Ведь чисто физически при этом никаких воздействий дополнительных фотонов на сами сигнальные фотоны не осуществляется!

Вот здесь-то мы и соприкасаемся впервые с тем, что мы и называем “элементарным” познанием: простейший логический анализ показывает, что теперь мы, в принципе, можем определить, по какому из двух возможных маршрутов сигнальные фотоны прошли к своему детектору (сравнивая, например, время их прибытия с временем прибытия оставшейся незаблокированной группы дополнительных фотонов). Теперь исходный фотон не может уже, подобно волне, идти через светоделиитель сразу обоими путями и обязан, подобно всякой уважающей себя корпускуле, либо отразиться однозначно от пластинки-светоделиителя, либо столь же однозначно пройти сквозь него.

При этом совершенно не обязательно, чтобы сравнение времен прибытия фотонов проводилось в реальности — достаточно одной лишь “угрозы” добычи, потенциальной возможности получения информации о том, по какому пути прошел фотон, чтобы он вынужден был выбирать только единственный маршрут. Таким образом, впервые в мировой науке получен совершенно фундаментальный экспериментальный результат: резкое (и сознательное) изменение топологии

пространства, в котором “обитают” самые “простые” элементарные частицы — фотоны, влечет, имеет следствием довольно неожиданное изменение очень жесткого (обычно) отделения друг от друга “субстанций протяженных” и “субстанций мыслящих” Это разделение фиксировано достаточно четко и определено, однозначно, только для физических процессов, в которых сколько-либо серьезного изменения топологии не происходит. Если же этого в ходе опыта нет, ситуация становится довольно загадочной: совершенно неживые — и тем более, казалось бы, не наделенные (поэтому) никакими “интеллектуальными” способностями, предельно “простые” материальные объекты — фотоны оказываются обладающими определенными — пусть простейшими, но тем не менее познавательными способностями.

Вообще говоря, проблема связи меняющихся, варьирующих топологий и Познания (в самом широком смысле) является в настоящее время одной из серьезнейших и наиболее глубоких “тайн Мироздания” наших дней, поскольку именно топологические инварианты — определенные структурно-математические характеристики изучаемых объектов — определяют способности (и возможности) последних подвергаться воздействию определенных формообразующих (и даже теленомических) факторов, которые неизбежно появляются во всяком регионе сильного взаимодействия и почти полного “перекрытия” физики и биологии (например, в области молекулярной биологии) буквально при всякой попытке применить здесь философскую категорию Причинения. Дело в том, что исторически все топологические инварианты (гомологии и т.д.) объектов и движений были впервые введены именно для структурно-математической характеристики способностей локальных процессов складываться в определенные целостные, глобальные образования. А без концептуального учета, так сказать, формообразующих (и даже теленомических) способностей локальных процессов, по-видимому, осмыслить, понять, как и почему даже у абсолютно “неживых” объектов появляются способности Познания абсолютно невозможно. Следует особо подчеркнуть, что Познание уже на этом, самом своем простейшем — “элементарном” уровне является существенно нелокальным, так сказать, “гештальтным”: оно не происходит, образно говоря, “от точки к точке”, или как-то последовательно алгоритмически, а совершается некоторым “целостным”

образом, воспринимается сразу вместе, целиком, некоторой единой “картинкой” Может быть, здесь именно и находится наиболее глубокая причина самих наших неустанных поисков единства научного знания? Может быть, мы обитаем во Вселенной, в которой всякое Познание всегда связано с установлением некоего Единства вещей, ранее казавшихся нам очень и очень далекими друг от друга?

Эту именно точку зрения на Познание развивал в своих работах в конце второй мировой войны великий философ XX века М.Хайдеггер (и во втором разделе настоящей работы это будет доказано соответствующим философским анализом и цитатами), но мы хотели бы здесь обратить внимание на то, что проблема некоего целостного — “гештальтного” характера всякого познания стоит в научной психологии уже почти весь XX век и до сих пор не получила сколько-либо удовлетворительного или общепризнанного решения. Тем более примечательно и интересно, что даже на уровне элементарных частиц то, что там в каком-то смысле еще можно назвать, так сказать, “предпознанием” уже несет с собой все характерные черты определенной целостности, а не последовательности, не какого-то алгоритмического “перебора” от точки к точке (или от одной “команды” к другой). Тем самым выявляются, выделяются некоторые общие, характеристические черты всякого Познания, на каком бы уровне Бытия оно не протекало.

Самая простая теоретическая трактовка опытов Л.Мандела с сотрудниками напрашивается в рамках общей теории топосов³ — пространств с меняющейся, вариабельной топологией. Поскольку последние, подобно счетно-бесконечномерным гильбертовым пространствам квантовой теории (имеющим представления, как известно, и в виде квадратично сходящихся последовательностей чисел, и в виде абстрактного пространства функций с интегрируемым квадратом), имеют также и другое, не пространственное, а чисто логическое представление — с помощью неких обобщенно-пространственных реализаций неклассических — интуиционистских логик, можно сказать, что перед нами, — в известной мере, современный аналог классических опытов Девиссона-Джермера, экспериментально доказавших в 20-е годы нашего века единство корпускулярных и волновых свойств всех мельчайших частиц материи.

Но только в данном случае, конечно же, нет пока еще вполне “непосредственного” проявления, так сказать,

“познавательных” способностей наиболее просто “устроенных” элементарных частиц — фотонов, способных, например, проходить без каких-либо физических изменений, стабильно, поистине космические расстояния (протяженности от самых далеких галактик и квазаров) в миллиарды световых лет, и тоже никак за эти миллиарды лет — уже времени — не меняя закономерности своего поведения. Пока что, в опытах Л.Мандела с сотрудниками, “познавательные” способности фотонов проявляют себя, конечно же, несколько косвенно и опосредованно, но дальнейшее совершенствование методики таких экспериментов может сделать эти способности, по-видимому, и более явными.

Эти самые “первичные”, зародышевые формы Познания целесообразно назвать именно “элементарными” в том точном смысле, что они совершаются на его еще “двоязыковой” ступени, поскольку как раз языковые, лингвистические построения Идеального — со своими весьма специфическими структурами (простейшие “порождающие” грамматические конструкции и т.п.) — переводят любое абстрактное Познание уже на совершенно другой уровень, который, к сожалению, находится полностью вне рамок настоящей статьи. Поскольку тщательное исследование, например, порождающих грамматик Хомского — совершенно самостоятельная область философского исследования, так сказать, “высших структур” Идеального, столь же отличная от интересующей нас темы, сколь, скажем, современная алгебра отличается от современной же теории интегрирования (см. соответствующие книги многотомных “Элементов” Бурбаки).

Что же касается общей проблемы взаимоотношений Протяженного и Познающего на других, более “высоких” (в каком-то смысле) уровнях организации Бытия, то здесь имеет место, по-видимому, соотношение (и дальнейшее развитие) типа козволюции — в контексте идей современного, так называемого “глобального эволюционизма” И для того, чтобы получить здесь наше “элементарное Познание”, так сказать, в “чистом виде”, нам совершенно необходимо провести здесь то, что еще Э.Гуссерль называл “феноменологической редукцией” — освободить Познание от всех тех историко-эволюционных наслоений, которые связаны, например, с предсознательными инстинктами (доминирования и власти, описанными еще Ницше и ранним Маслоу, или сексуаль-

ными, исследованными столь глубоко Фрейдом и его учениками); с сознательными уже, но еще очень и очень предрациональными структурами человеческой психики и познания типа архетипов Юнга, личностных идентификаций (“доброе” или “злое” героя, ковбоя, моряка-путешественника) Эриксона; властно-общественными структурами типа школ, больниц, тюрем и т.п. Фуко или национально-специфических мифов и фольклорных сказок Гачева.

Вместе с тем опыт Мандела — это уже первый эксперимент, так сказать, “типа Фарадея” в трудной и сложной проблеме соотношения Духа и Материи, точнее говоря, Протяженности и Познания, — когда даже чисто теоретическая — и только потенциальная! — возможность некоего познания совершенно радикальным образом меняет чисто физическое “поведение” фотонов в пространстве и времени. До сих пор в мировой науке опытов такого высокого экспериментального уровня и “профессиональной чистоты” в этой области просто не было.

Конечно, всегда имело место достаточно много даже сенсационных газетных сообщений о тех или иных случаях телекинеза и т.п., но почти все они, к сожалению, проводились обычно, во-первых, вне серьезной лабораторной (контролируемой) обстановки, а во-вторых, были весьма и весьма уязвимы для серьезной научной критики с точки зрения их добросовестности (Ури Геллер и т.д.). А самое главное — из них обычно ничего не следовало в смысле дальнейшего исследования: все они в лучшем случае оказывались набором странных случайностей, не способным сформулировать сколь-либо серьезную, интересную и прогрессивную программу дальнейших научных исследований. Все это требует, разумеется, более глубокого философского осмысления, а самое главное — новых, более утонченных физических экспериментов.

Философские обобщения

Таким образом, мы приходим постепенно к очень серьезной — и очень важной для самых различных современных научных дисциплин — методологической, философской проблеме: как конкретно мы сейчас, в наши дни должны представлять себе внутреннее единство всего нашего научного знания?

М.Хайдеггер еще во фрейбургских лекциях по истории философии 1939 г. дает краткий очерк ее становления и развития — со времени самой ее постановки Парменидом в классической античности. Идеи Платона, атомы Демокрита, энергии Аристотеля, влечения монад Лейбница, протяженность Декарта, объективность и предметность Канта, абсолютная идея Гегеля, “жизнь” Ницше, наконец, “становление” у самого Хайдеггера — таковы основные — и очень конкретные — моменты концептуального формирования этой центральной проблемы всякого сколько-либо серьезного теоретического мышления (и играющей сейчас интуитивно в нем роль, в чем-то аналогичную интуитивной роли “проблемы материи” в недавно “единственно правильной” марксистской философии).

Конечно, выдвижение в современных методологических (и чисто философских) исследованиях на первый план именно идей единства научного знания — с последующей их какой-то специфически современной конкретизацией в новой, математической “онтологии” — связано прежде всего с нарастанием в последние годы в самых различных разделах научного знания интереса к каким-то достаточно новым унифицирующим, объединяющим все знание концепциям и идеям, которые смогут достаточно определенно выявить наиболее перспективные направления научного прогресса в ближайшие годы и конкретные пути решения таких грозных (и все обостряющихся) глобальных проблем человечества, как экологические катастрофы, СПИД, ядерный терроризм, наркомания и наркомафия, энергетический кризис и т.д. Биологические науки, например, как это ни странно, гораздо ранее даже теоретической физики стали связывать единство своей науки с определенными топологическими структурами (в работах одного из основателей теоретической биологии, нашего соотечественника Н.Н.Рашевского).

В теоретической физике явная экспликация философской идеи единства этой науки с помощью определенных, чисто топологических инвариантов была недавно заявлена (в качестве большой программы исследований) ведущим физиком-теоретиком современности, учеником Н.Бора (и учителем таких маститых исследователей, как Р.Фейнман или создатель новой интерпретации квантовой теории Дж.Эверетт) Дж.А.Уилером⁴. А последний цикл его работ как раз прямо связан с развитием идей В.Гейзенберга и Н.Бора по философ-

скому (и топологическому) анализу общей концепции квантовых измерений и наблюдений, в которой сам непосредственный акт взаимодействия измеряемого объекта и прибора включается в целую замкнутую цепочку (“гносеологический цикл Уилера”) информационных преобразований, без обязательной замкнутости которой (отличия от нуля ее 1-когомологий) Бытие, существование любого объекта самого по себе просто не имеет места.

Напомним кратко реальную физическую ситуацию: ученый-экспериментатор производит определенные воздействия на исследуемые объекты, которые “выдают” ему интересующую его информацию в виде конкретных электрических, оптических, звуковых, тепловых, механических или иных ответных импульсов (“сигналов”). Восприятие последних и обсуждение их физического смысла с коллегами-теоретиками и составляет одну из “половин” дуги циркуляции физической информации в “гносеологическом цикле” Уилера — всем известную и достаточно хорошо исследованную философами-эмпириками (Джон Локк, французские материалисты, почти весь наш так называемый “гносеологический диамат”).

Но для современного понимания единства физики, по мнению Дж.А.Уилера, решающее значение имеет не только эта тривиальная, по его мнению, часть общефилософской теоретико-познавательной схемы, а вскрытая впервые им другая, существенно “кантова” “дуга” познания, начинающаяся с самых общих, онтологических представлений об исследуемых объектах. Это — определенные предположения о том, какой (классической или интуиционистской) логике, например, все они подчинены: уже из неклассичности, интуиционистской природы их логики можно вывести достаточно строго необходимость описания их только комплексно-значными волновыми функциями (так называемая теорема Штюкельберга), что в свою очередь немедленно влечет за собой необходимость введения для описания их динамики самых различных калибровочных (квантовых) полей.

Классическая же логика исследуемых физических структур — в сочетании с очень простыми предположениями о причинных “тнях” передачи взаимодействий — почти сразу же ведет нас к группе Лоренца как единственной группе автоморфизмов таких “причинных” пространств и соответственно (при добавлении закона Кулона) — к уравнениям Максвелла для

всей электромагнитной формы Бытия. Таковы самые первые, но очень перспективные, многообещающие результаты применения топологических идей в основаниях современной физики, кстати говоря, очень во многом напоминающие, по сути дела, “герменевтические круги” современных общественных наук. И они позволяют утверждать, что в наши дни именно современная топология становится основой концептуальной модернизации и поисков более глубокого внутреннего единства всего современного естествознания (а возможно, и наук общественных). Серьезная философия, однако, начала продумывать эти возможности, оказывается, еще задолго до того, как они начали конкретно реализовываться в науке наших дней, в самом конце XX века.

Вот как убедительно вводится совершенно новая методологическая (и топологическая) категория “окрестности” в самый фундамент современной философской науки в известном, но и очень трудном (на уровне платоновского “Парменида”, а без топологической интерпретации — местами просто загадочном) диалоге М.Хайдеггера о мышлении, написанном еще в конце второй мировой войны и наполненном новыми топологическими идеями, так сказать, “доверху”, “с начала и до конца” (в диалоге⁵ участвуют: исследователь — И, образованный — О и ученый — У):

“И: Что означает тогда это слово?”

О: В более старой форме оно звучит “Гегнет” и подразумевает открытую даль. Удастся ли из этого взять что-то для сущности того, что мы могли бы назвать окрестностью?

У: Окрестность собирает, подобно тому, как будто ничего не произошло: каждое с каждым — и все они друг к другу в пребывании покоя, самих в себе. Рассмотрение вместе с окрестностями — это сосредоточенное собирание вместе для длительного покоя определенное время.

О: Соответственно этому окрестность сама является и далью и длительностью. Она пребывает в дали покоя. Она длится время свободного углубления в себя. Мы могли бы поэтому, принимая во внимание выделенное употребление этого слова, вместо привычного слова “окрестность” говорить также и “Гегнет”

У: “Гегнет” — это длянщаяся даль, собирающая все вместе и открывающая себя так, что открытое содержится и сохраняется в ней, оставляя каждое в своем длении.

И: Насколько я могу видеть, “Гегнет” скорее уединяет, чем что-то нам противопоставляет...

О: Так что также и вещи, рассматриваемые в аспекте “Гегнет”, не имеют больше характера предметов.

У: Они не только не противостоят нам больше, они вообще больше не стоят.

И: Они что — лежат, или что-то происходит с ними?

У: Они лежат (в определенном смысле): если мы под покоем подразумеваем то, что в разговоре выше называлось длением”

Введение новых, очень необычных или, по крайней мере, отличных от всех, известных нам до сих пор систем окрестностей (топологий) может, таким образом, на определенное время “снять” в определенном смысле даже сам “основной вопрос философии” — классическое, восходящее еще к Декарту противопоставление субъекта объекту, например в области современной философской, как ее называет М.Хайдеггер, “новой фундаментальной онтологии” (включающей в себя категориальное осмысление такого важнейшего, по его мнению, “онтологического” факта всего нашего Бытия, как Свобода Человека). При этом удастся очень точно и исторически убедительно описать сам процесс формирования новых научных понятий (“сфокусирования” их в нечто четкое и определенное — в отличие от исходного состояния размышлений — как чего-то еще очень расплывчатого и неопределенного). Категория “Гегнет” концептуализирует, таким образом, очень сложные теоретико-познавательные процессы, протекающие в решающие моменты человеческого познания, в моменты осознания близости друг другу вещей, до того очень далеких:

“И: Но как быть тогда с далеким и близким, внутри чего “Гегнет” делается четким или расфокусируется, приближается и удаляется?”

О: Эта близость и дальность не могут быть вне “Гегнет”

У: Поскольку “Гегнет”, все противопоставляя друг другу, все приближает друг к другу и позволяет вернуться к собственному длению и аутентичности.

И: Тогда “Гегнет” само было бы сближающим и удаляющим.

О: “Гегнет” само было бы близостью далекого и дальностью близкого...

У: Ожидая, мы оставляем то, что ожидаем, Открытым.

О: Почему?

У: Потому что ожидание вводит себя в Открытое...

О: в удалении далекого...

У: вблизи которого находится дление, где оно остается.

И: Но оставаться, — значит, возвращаться.

О: Открытое само было бы тем, что мы теоретически можем только ожидать.

И: Но Открытое само является “Гегнет”

У: в которое, когда мы думаем, мы, ожидая, включены.

И: Мышление было бы тогда приближением к далекому”⁶.

Нам представляется, что новая, методологическая категория “Гегнет” позволяет более глубоко и конкретно понять сущность того, что всегда представляло собой основной предмет всякой научной философии — сущность мышления. Последнее, по М.Хайдеггеру, связано прежде всего с построением все новых и новых — все более “тонких” топологий (на полной совокупности известных нам объектов), на сближении (и даже полном отождествлении иногда) в этой новой топологии — вещей и объектов, ранее казавшихся очень и очень далекими друг от друга. Напомним здесь только, например, всю многовековую историю исследований в физике электричества и магнетизма, (а потом — и оптических явлений) или — в еще большей степени — весьма нетривиальное (и неожиданное даже для специалистов) отождествление волн и корпускул в квантовой теории.

Эти примеры показывают, что размышления о наиболее общем, философском понимании единства научного знания в каждую данную эпоху вовсе не являются — как полагают до сих пор многие даже крупные ученые — слишком абстрактными и потому практически бесполезными “умствованиями”, а выступают совершенно необходимым этапом становления существенно новых научных идей. Конечно, это не значит, что этим должны заниматься все исследователи — ведь у них просто очень различные способности в различных сферах научной специализации. Напомним, однако, здесь только роль философских исканий Галилея и Декарта, Ньютона и Фарадея, Эйнштейна и Гейзенберга в получении ими совершенно конкретных научных результатов непреходящего, даже цивилизационного значения.

Мы уже не говорим, что самая первая философская постановка этого вопроса как вопроса о Бытии (Парменидом) в классической Греции во всей его общности почти сразу же привела человечество к совершенно конкретному научному

результату в понимании единства Знания — идее атомизма, который даже такой признанный критик “философских умствований”, как Фейнман признает содержащим в себе потенциально почти все наши научные познания и даже более того — лучшей характеристикой почти всех культурных достижений человечества (если бы вдруг все оно неожиданно погибло). Демокрит и другие античные атомисты, в сущности говоря, уже просто “разнесли” парменидово Бытие и изменчивость в “линейных размерах”: первое они связали с очень маленькими, чисто “парменидовыми” атомами, а все изменения, движение (и даже развитие) связали с самыми различными сочетаниями и перекombинациями их друг с другом. В наши дни, по нашему мнению, что-то аналогичное должно произойти и в области наук общественных по мере их, начатой еще П.А.Флоренским и М.Хайдеггером, топологической теоретизации и модернизации. Ибо современное топологическое понимание Бытия и единства научного знания распространяется последним и на всю область наук о человеке. Вот как он пишет⁷ об этом в уже цитированном диалоге:

«И: ...Все же мне стало ясно другое: во взаимоотношении Я и Объекта скрывается нечто Историческое, принадлежащее сущности человека.

У: Только поскольку сущность Человека получает (окончательный) отпечаток не от Человека, а от того, что мы назвали “Гегнет” (топология) и его конкретизации, История, на которую Вы обратили внимание, происходит как история “Гегнет” (топологии)... Историческое покоится в “Гегнет”, которое, посланное Судьбой навстречу Человеку, включает его (этим противопоставлением) в свою сущность.

О: Эту сущность мы, однако, едва осознаем, понимая, что в рациональности животного она еще не появляется.

И: В такой ситуации мы могли бы только ждать проявления сущности Человека.

У: В спокойной отрешенности, благодаря которой мы принадлежим “Гегнет”, которое еще скрывает собственную сущность.

О: Спокойная отрешенность по отношению к “Гегнет” угадывается как искомая сущность мышления».

Здесь благодаря новой топологической интерпретации единства самых различных исторических процессов мы приходим к наиболее глубоким аспектам нашего современного по-

нимания традиционно трудных — фундаментальных философских проблем: все самые различные способы теоретического и практического поведения (деятельности) людей в самые различные исторические эпохи оказываются, по Хайдеггеру, “сведенными” к самым различным способам проведения ими новых границ (окрестностей — “Гегнет”) на полной совокупности интересующих нас объектов. Именно в этом состоит суть первых концептуальных применений топологии в области философии (и вообще гуманитарных наук). И при всей кажущейся чрезмерной абстрактности (а иногда — и кажущейся тривиальности) такого подхода, посмотрите, какое богатейшее содержание обобщает, однако, на самом деле это новое фундаментальное методологическое понятие (“Гегнет”). Здесь перед нами — и сама сущность Человека, и по-современному понятый смысл его существования (спокойное, отрешенное созерцание “Гегнет”), и нечто даже более великое, чем сам человек — то, что является более высокой формой организации Бытия, чему даже само человеческое существование служит лишь средством. Перед лицом всего этого Хайдеггер выдвигает⁸ только что-то, аналогичное современной, так сказать, “экзистенциалистской” форме стоицизма:

И: Однако теперь подлинное спокойствие и отрешенность состоит в том, что Человек в своей сущности принадлежит “Гегнет” (топологии), т.е. оставлен в ней.

О: Не случайно, а — как это мы должны сказать — с самого начала.

И: О предшествующем, откуда все это вышло, мы, собственно, не можем мыслить...

У: так как сущность мышления начинается там.

И: Итак: с незапамятных времен сущность Человека “оставлена” в “Гегнет”

О: Почему мы сразу же добавим: и именно благодаря самому “Гегнет”.

У: Это соединяет сущность Человека с его собственным противоположным.

И: Так мы разъяснили спокойную отрешенность. Мы, однако, также, что мне тотчас пришло в голову, не предприняли попытку осмыслить, почему тогда сущность Человека связана с “Гегнет”

О: Сущность Человека, очевидно, потому оставлена в “Гегнет”, что эта сущность столь существенно принадлежит

“Гегнет”, что последнее без человеческой сущности не могло бы существовать так, как оно существует.

У: Определенно — и я полагаю так: сущность Человека единственно потому оставлена в “Гегнет” и вследствие этого используется “Гегнет”, что Человек сам по себе не волен изменить Истину и она остается независимой от него. Истина может быть независимой от Сущности Человека только потому, что Сущность Человека, как спокойное созерцание “Гегнет”, используется “Гегнет” в противопоставлении и для сохранения условий (своего Бытия). Независимость Истины от людей представляется, однако, явно еще одним отношением к Сущности Человека, отношением, которое имеет основанием противопоставление Сущности Человека в “Гегнет”».

Теоретическое единство современной физики и биологии

Междисциплинарные взаимодействия “лидера” современного естествознания — физики — и не менее уважаемого “претендента” на это весьма почетное и высокое звание — биологии — в наши дни сложны и многообразны: с точки зрения философии они протекают, по крайней мере, на трех довольно различных уровнях. Первый — это, так сказать, чисто экспериментальный, когда те или иные новые, часто сложнейшие и тончайшие физические приборы используются для опытного исследования тех или иных биологических явлений и процессов. Второй — “теоретический”, это когда те или иные, ныне уже существующие физические теории привлекаются для модельно-математического объяснения тех или иных конкретных результатов наук о живом. Понятийный аппарат ни физики, ни биологии при этом почти не меняется.

Но с точки зрения философии наиболее интересен и перспективен третий, так сказать “концептуальный” уровень взаимодействия, когда происходит обогащение — расширение или обобщение — понятийного, концептуального аппарата физики или биологии. Потому что даже для М.Хайдеггера философия реально, в узком (методологическом) смысле, — это прежде всего изучение технологии, “механизмов” создания, образования новых, более глубоких и общих теоретических понятий. В этом плане сложные, иногда вполне “конфронтационные” взаимодействия основных, наиболее фундаментальных кон-

цепций физики и биологии, довольно подробно рассмотренные в нашей книге⁹, продолжают все последние годы.

При этом интерес ведущих ученых-физиков современности именно к биологии непрерывно растет: многие из них, например самый молодой нобелевский лауреат недавнего времени Б.Джозефсон, просто перешли в биологию (и даже телепатию), другие — пишут целые книги о “мыслящих” машинах (Р.Пенроуз), наконец, третьи — основывают целые новые институты по биологической тематике (“Институт сложности” в Санта-Фе на юге США, например, под руководством нобелевского лауреата и одного из создателей теории кварков М.Гелл-Мана). Дело здесь, разумеется, не только в отсутствии новых больших ускорителей, но и в совершенно определенных тенденциях развития самой теоретической физики в самые последние годы.

Современная когомологическая¹⁰ (теоретико-категорная) физика в этом плане, по-видимому, позволяет впервые заложить ныне такие единые теоретические основания всего естествознания наших дней, какие в первые десятилетия уходящего XX века заложила квантовая теория — общий концептуальный базис, как известно, не только современной теоретической физики, но и современной теоретической химии. И подобно тому, как совершенно новые (тогда) понятия стационарных квантовых состояний и полной системы их количественных характеристик (квантовых чисел и т.п.) впервые позволили очень много понять и объяснить как в Периодической системе элементов Менделеева, так и в детальной динамике физических и химических микропроцессов, точно так же очень и очень многое в синергичной динамике специфических микроструктур живого (и неживого) позволяет, мы надеемся, понять ныне эти новейшие понятия современной теоретической физики (и кратко описываемые здесь ниже) когомологии, когерентности и конструктивных объектов.

Захватившая в последнее время почти всю теоретическую физику так называемая “топологическая революция” выдвигает на первый план в “лидере современного естествознания” как раз такие математические и концептуальные структуры, которые, образно говоря, впервые достаточно основательно “идут навстречу” основным, наиболее глубинным (и даже подсознательным — в определенной мере) теоретическим устремлениям всей биологической науки в целом — в ее кардинальном отли-

чий от сложившихся за многие века теоретических устремлений физики.

Здесь следует особо иметь в виду, что именно в области современной молекулярной биологии как раз и происходит, по-видимому, постепенный переход от чисто аналитической, преимущественно “расчленяющей” объекты (на составляющие их компоненты) традиционной методологии физики к столь же традиционной методологии наук о живом — более конструктивного, формообразующего, в каком-то смысле унифицирующего и даже синтетического плана. Именно по этой причине, по-видимому, до сих пор не удалось, кстати говоря, установить сколько-нибудь интересные теоретические контакты всего комплекса биологических наук — и даже его наиболее “теоретизированных” фрагментов — с такими, казалось бы, весьма фундаментальными физическими законами, как уравнения динамики Ньютона, электродинамики Максвелла и т.д.

Здесь, по-видимому, необходима такая теоретическая переформулировка последних, выявление таких их существенно новых структурно-концептуальных компонентов, которые в большей степени соответствовали бы существенно формообразующей, синтетической (а не аналитической) методологии наук о жизни. Мы имеем здесь в виду прежде всего, что то понимание философской категории Причины, которое до сих пор выдвигалось на первый план в физике (как “запускающего толчка” в механике и “материального носителя” процессов в физике поля), оказывается совершенно недостаточным для получения, формирования новых, сколько-либо интересных и продвигающих нас дальше и глубже понятий в области такого “интенсивного” и почти полного “перекрытия” друг другом биологических и чисто физико-химических процессов, какой является современная молекулярная биология. В этом экспериментальном и теоретическом регионе современного естествознания, — несомненно, ведущем и даже, более того, определяющем все наши грядущие экологические и медицинские судьбы! — понятие Причины должно быть обязательно пополнено какими-то концептуальными моментами формообразующего и даже теленомического плана, как об этом предупреждал еще великий Аристотель.

Происходящая в наши дни когомологическая (тополого-алгебраическая) переформулировка основных динамических законов физики (уравнений Ньютона, Максвелла, Шредингера)

ра, Дирака и т.д.) как раз и позволяет трактовать их не столько вполне традиционным образом — с точки зрения определенных количественных (или метрических) соотношений, а и прежде всего как определяющие собой существенно новые топологические (когомологические чаще всего) структуры глобальной динамики любого рода объектов. Так в простейшем случае классической механики Галилея-Ньютона, когомологические методы впервые позволяют глубже осмыслить, например, почему именно понятие инерциальной системы отсчета играет в ней столь фундаментальную концептуальную роль: оно в каком-то (а именно — в когомологическом) смысле глобально “снимает”, казалось бы, кричащее, наглядное противоречие покоя и движения, — оказывается, есть такие состояния механического движения — инерциальные перемещения, которые с точки зрения наиболее глубоко характеризующих всякое движение топологических — когомологических структур “устроены” столь же “просто”, что и состояние покоя (вторые производные текущих координат и тех, и других по времени всегда равны нулю — определенные “инфинитезимальные” “границы их границ” всегда исчезают).

Это фундаментальнейшее тополого-алгебраическое “исчисление” предельно абстрактных “границ их границ” — когомологий — позволяет увидеть в совершенно новом свете не только соотношение друг с другом, например, электрических и магнитных сил в электродинамике Максвелла-Лоренца, но и, например, определенные, почти “теленомические” аспекты глобального динамического поведения даже чисто механических систем, — например, в случае странных аттракторов или так называемых предельных циклов. Новые — топологические — структуры динамики любого рода объектов как раз и позволяют выдвинуть, оказывается, на первый план научного анализа именно то, что является наиболее важным для любого живого объекта — его формообразующие (и самовоспроизводящие) факторы, а также определенные теленомические аспекты их глобального поведения.

Научное понимание такого рода вещей с помощью чисто классической трактовки философской категории Причины оказывается уже в наши дни просто невозможным. Как, например, объяснить одновременное и весьма согласованное в пространстве и во времени — когерентное — протекание в каждой живой клетке тысяч и тысяч сложнейших — аллосте-

рических (сильно зависящих от трехмерной пространственной конфигурации молекул) биохимических реакций и биофизических процессов? Вот здесь-то и появляется другое важнейшее понятие современной теоретической физики — когерентности, вернее, его далеко идущее обобщение из области классической оптики (где оно имеет предельно четкий, ясный и количественно определенный смысл) на область объектов существенно неметрической и даже не количественной природы (с чем мы постоянно имеем дело в области наук о живом). Мы считаем, что именно такое — одинаково плодотворное и для физики, и для биологии обобщение — произойдет в ближайшее время с помощью понятия когерентных логик.

Когерентная логика — это обобщенно пространственно формулируемая (в протяженностях с меняющейся, переменной топологией — топосах) интуиционистская логика, допускающая особое семантическое истолкование (так называемые семантики Крипке-Жойала¹¹ на объектах, претерпевающих определенное “развитие” в том или ином смысле: появление существенно новых объектов, возникновение между ними новых связей (при обязательном сохранении старых) и т.д. Такого рода чисто логическим конструкциям в топосах (как протяженностях) сопоставляются определенные пространственные образования типа так называемых конструктивных множеств — в простейшем случае нетеровых структур (описываемых конечным и относительно малым числом существенных, определяющих все их свойства параметров) — конечных объединений локально замкнутых множеств.

Когерентность и конструктивность определенных структур в топосах являются, так сказать, современным — топологическим обобщением (на уровень молекулярной биологии) таких фундаментальных, вскрытых во всей их концептуальной глубине только квантовой механикой характеристик Бытия как его одновременные корпускулярные и волновые аспекты. Здесь перед нами, по-видимому, — еще одна из глубочайших “тайн Мироздания”, которые являются одновременно и чисто философскими (гносеологическими), и вместе с тем — совершенно конкретными, естественнонаучными, часто требующими для своей разгадки довольно утонченных и вполне материальных экспериментов (о чем уже шла речь выше).

Конструктивные объекты и являются, по-видимому, основными динамическими структурами, обеспечивающими фи-

зико-химическую реализацию в живом тех процессов, которые еще великий Аристотель назвал формообразующими и которые столь существенно отличают все живое от всего неживого, мертвого. На простейшем, наиболее элементарном уровне живого они обеспечивают определенные преимущественные (или предпочтительные) направления перемещения составляющих их “частей” и определенное согласование во времени (когерентность) таких перемещений.

Что составляет физическую основу такой обобщенной когерентности физико-химических процессов во времени и пространстве? — В деталях это еще предстоит исследовать и исследовать, но уже сейчас ясно, что это, по-видимому, какой-то топологический аналог столь известного ныне спонтанного нарушения чисто алгебраических симметрий, весьма характерного для многих областей современной физики. В простейшем случае, например, вода, вытекающая из ванны, может вращаться в воронке в принципе с равной вероятностью — как по, так и против часовой стрелки, но коль скоро ее движение установилось, самые обычные, всем давно известные гидродинамические законы физики обещают достаточно устойчивое существование этого явления.

Совершенно аналогичным образом можно показать, что топологические инварианты типа гомотопий и когомологий уже сейчас могут дать “вполне материалистическое” — без всякой мистики и потусторонних “духовных” сил! — объяснение столь характерных для всей биологии чисто “теленомических” детерминаций прошлого некими будущими явлениями и событиями. Это позволяют осуществить так называемые топологические принципы двойственности (определяемости всех важнейших топологических характеристик — инвариантов интересующих нас объектов топологическими инвариантами “окружающего” эти объекты пространства — все последнее, так сказать, “минус” часть его, занятая объектами). Более подробно идеи эти изложены в конце нашей статьи в сборнике “Самоорганизация и наука: опыт философского осмысления” (М. 1994).

Хорган Дж. Квантовая философия // В мире науки. М., 1992. № 9-10. С. 74-75.

Mandel L. a. O. Physical Review Letters. Vol. 67. 1991. P 318 // Induced Coherence and Indistinguishability of Optical Interference.

-
- ³ *Голдблатт Р.* Топосы: Категориальный анализ логики. М.: Мир, 1983.
Джонстон П. Теория топосов. М.: Наука, 1986.
Рис М., Руффини Р., Уилер Дж. Черные дыры, гравитационные волны и космология. М.: Мир, 1977. Гл. 19.
- ⁵ *Heidegger M.* Zur Erörterung der Gelassenheit. // Gesamtntausgabe. Frankfurt am Main, 1983. Bd. 13. S. 47.
Heidegger M. Op. cit. S. 69-70.
Цит. соч. С. 61, 62.
Там же. С. 66-67, 68.
- ⁸ *Акчури И.А.* Единство естественнонаучного знания. М.: Наука, 1974.
- ¹⁰ *Виттен Э.* Физика и геометрия. Международный конгресс математиков в Беркли. М., 1991. С. 394.
Справочная книга по математической логике. Ч. I М. 1982. С. 302 и далее.

Частицы и Космос (к проблеме начала)

Современная физика частиц вынуждена обсуждать такие вопросы, которые, по сути дела, волновали еще античных мыслителей. Каково происхождение частиц и химических атомов, построенных из этих частиц? И как из частиц, как бы мы их не называли, может быть построен Космос, видимая нами Вселенная? И еще — сотворена ли Вселенная или существует извечно? Если можно так спрашивать, то каковы пути мысли, которые могут привести к убедительным ответам? Все эти вопросы аналогичны поискам истинных начал бытия, вопросам о природе этих начал.

Подобные вопросы ведут к проблеме происхождения самого Космоса: имеет ли Космос начало во времени и каков характер этого начала. Вспомним, что слово “космос” в греческом языке среди других смыслов означает Красоту, Порядок, Вселенную. Нас будет интересовать именно последний смысл — необъятный природный мир, Вселенная в ее единственности, как она нам дана в познании. Но чтобы сохранить различные оттенки содержания понятия, которые имели в виду античные мыслители, будем говорить о Космосе. Они мыслили Космос, природный мир в целом как образец высшей симметрии.

Современный автор книги “Суперсила” П.Девис пишет о значении симметрии в современной физике следующее: “Среди наиболее впечатляющих примеров роли эстетического начала — применение в фундаментальной физике симметрии в *достаточно общем смысле* (подчеркнуто мною — Н.О.). Действительно, в последние годы “симметричная лихорадка” завладела умами в ряде областей физики. Теперь уже ни у кого не вызывает сомнения, что именно симметрия служит ключом к

пониманию природы взаимодействий. По убеждению многих физиков, все взаимодействия существуют лишь для того, чтобы поддерживать в природе некий набор абстрактных симметрий” [Девис П. Суперсила (поиски единой теории природы). М. 1989. С. 123].

Понятие симметрии в достаточно общем смысле давно уже представлено в методологических исследованиях как понятие, выражающее единство сохранения и изменения. В каждой области исследования открываются специфические величины, которые оказываются неизменными по отношению к происходящим в этой области изменениям. Это и будет симметрия в достаточно общем смысле. Иногда говорят о симметрии как об инвариантности по отношению к определенным операциям или преобразованиям.

Что бы мы ни говорили о Космосе, ясно одно, что все в природном мире так или иначе состоит из частиц. Но как понимать эту составленность? Известно, что частицы взаимодействуют — притягиваются или отталкиваются друг от друга. Физика частиц изучает разнообразные взаимодействия. Скажем о них чуть более подробно.

Исторически первой была открыта гравитация (тяготение). Это наиболее универсальное взаимодействие — ничто в Космосе не избавлено от всепроникающего действия гравитационной силы. Любая частица — это источник гравитации. Но удивительней всего, что сила гравитационного взаимодействия одинакова у всех частиц. Ничего не зная о многообразии частиц, из которых построен Космос, Галилей уже пришел к мысли, что все тела, независимо от их веса и состава, падают на Землю одинаково — с одним и тем же ускорением. Известно также, что открытие закона тяготения связано с именем Ньютона.

Парадоксальность явления гравитации обнаруживается в том, что в физике частиц сила гравитационного взаимодействия настолько ничтожна по величине, что ею вполне можно пренебречь. Но мы тем не менее повседневно ощущаем гравитацию. Это происходит потому, что частицы, из которых состоит Земля, как и все в Космосе, действуют сообща. Суммарное взаимодействие оказывается значительным. В Космосе гравитационное взаимодействие становится огромной связующей силой.

Электромагнитное взаимодействие привлекло к себе особенное внимание в XVIII—XIX вв. Обнаружилось сходство и различие электромагнитного взаимодействия и гравитационного. Подобно гравитации, силы электромагнитного взаимодействия обратно пропорциональны квадрату расстояния. Но в отличие от гравитации, электромагнитное “тяготение” не только притягивает частицы (различные по знаку заряда), но и отталкивает их друг от друга (одинаково заряженные частицы). И не все частицы — носители электрического заряда. Например, фотон и нейтрон нейтральны в этом отношении. В 50-х годах XIX в. электромагнитная теория Д.К.Максвелла (1831—1879) объединила электрические и магнитные явления и тем самым прояснила действие электромагнитных сил.

Изучение явлений радиоактивности привело к открытию особого рода взаимодействия частиц, которое получило название слабого взаимодействия. Поскольку это открытие связано с изучением бета-радиоактивности, можно было бы назвать это взаимодействие бета-распадным. Однако в физической литературе принято говорить о слабом взаимодействии — оно слабее электромагнитного, хотя и значительно сильнее гравитационного. Открытию способствовали исследования В.Паули (1900—1958), предсказавшего, что при бета-распаде вылетает нейтральная частица, компенсирующая кажущееся нарушение закона сохранения энергии, названная нейтрино. И кроме того, открытию слабых взаимодействий способствовали исследования Э.Ферми (1901—1954), который наряду с другими физиками высказал предположение, что электроны и нейтрино до своего вылета из радиоактивного ядра не существуют в ядре, так сказать, в готовом виде, но образуются в процессе излучения.

Наконец, четвертое взаимодействие оказалось связанным с внутриядерными процессами. Названное сильным взаимодействием, оно проявляется как притяжение внутриядерных частиц — протонов и нейтронов. Вследствие большой величины оно оказывается источником огромной энергии.

Изучение четырех типов взаимодействий шло по пути поисков их глубинной связи. На этом неясном, во многом темном пути только принцип симметрии направлял исследование и привел к выявлению предполагаемой связи различных типов взаимодействий.

Для выявления таких связей пришлось обратиться к поискам особого типа симметрий. Простым примером подобного

типа симметрии может служить зависимость работы, совершаемой при подъеме груза, от высоты подъема. Затрачиваемая энергия зависит от разности высот, но не зависит от характера пути подъема. Существенна только разность высот и совершенно не имеет значения, от какого уровня мы начинаем измерение. Можно сказать, что мы имеем здесь дело с симметрией относительно выбора начала отсчета.

Подобным образом можно вычислять энергию движения электрического заряда в электрическом поле. Аналогом высоты будет здесь напряжение поля или, иначе, электрический потенциал. Затрачиваемая энергия при движении заряда будет зависеть только от разности потенциалов между конечной и начальной точками в пространстве поля. Мы имеем здесь дело с так называемой *калибровочной* или, по-другому, с *масштабной* симметрией. Калибровочная симметрия, отнесенная к электрическому полю, тесно связана с законом сохранения электрического заряда.

Калибровочная симметрия оказалась важнейшим средством, порождающим возможность разрешить многие трудности в теории элементарных частиц и в многочисленных попытках объединения различных типов взаимодействий. В квантовой электродинамике, например, возникают различные расходимости. Устранить эти расходимости удастся в силу того, что так называемая процедура перенормировки, устраняющая трудности теории, тесно связана с калибровочной симметрией. Появляется идея, что трудности при построении теории не только электромагнитных, но и других взаимодействий могут быть преодолены, если удастся найти другие, скрытые симметрии.

Калибровочная симметрия может принимать обобщенный характер и может быть отнесена к любому силовому полю. В конце 60-х гг. С. Вайнберг (р. 1933) из Гарвардского университета и А. Салам (р. 1926) из Империял колледжа в Лондоне, опираясь на работы Ш. Глэшоу (р. 1932), предприняли теоретическое объединение электромагнитного и слабого взаимодействий. Они использовали при этом идею калибровочной симметрии и связанное с этой идеей понятие калибровочного поля.

Для электромагнитного взаимодействия применима простейшая форма калибровочной симметрии. Оказалось, что симметрия слабого взаимодействия сложнее, чем электромагнитного. Сложность эта обусловлена сложностью самого процесса, так сказать, механизма слабого взаимодействия.

В процессе слабого взаимодействия происходит, например, распад нейтрона. В этом процессе могут участвовать такие частицы, как нейтрон, протон, электрон и нейтрино. Причем за счет слабого взаимодействия происходит взаимное превращение частиц.

Опуская детали хода рассуждений, скажем, что для калибровочной симметрии в области слабых взаимодействий пришлось ввести три новых силовых поля. При квантовом описании введенных полей необходимо было допустить существование новых типов частиц — переносчиков взаимодействия. Так были предсказаны, а затем и найдены W (плюс) частица, W (минус) частица, а затем и нейтральная Z частица. Открытие этих частиц в начале 80-х годов привлекло особенное внимание к теории Вайнберга — Салама. Хотя надо заметить, что признание ведущей роли теоретических идей выразилось в том, что уже в 1979 г. Вайнберг и Салам вместе с Глэшоу, еще до убедительного экспериментального подтверждения своих теоретических построений, были удостоены Нобелевской премии.

Однако обнаружили трудности. Калибровочные поля по своей природе представляют собою дальнедействующие поля. В силу этого частицы, переносчики взаимодействия, должны, казалось, иметь нулевую массу покоя. Но получалось, что W и Z имеют огромную массу в сравнении, скажем, с массой электрона. В таком случае нарушается калибровочная симметрия.

Вайнберг и Салам интерпретировали такое нарушение симметрии, как основание для различения электромагнитных и слабых взаимодействий. Слабое взаимодействие столь мало в сравнении с электромагнитным потому, что частицы W и Z обладают очень большой массой.

С позиции методологического анализа кратко описываемой познавательной ситуации, имея в виду значимость принципа симметрии, все же приходится отметить, что констатация нарушения калибровочной симметрии была и остается лишь сигналом к поиску неизвестных еще симметрий. В физической литературе подчеркивается как существенное достижение мысль о так называемом “спонтанном нарушении симметрии”. Однако методологически существенно подчеркнуть другую сторону ситуации в познании единства взаимодействий.

Физическая мысль все же искала выход из трудностей, связанных с проблемой бесконечностей в теоретических построениях. Именно эта проблема и была особенно важной и оп-

ределяющей для принятия теории. Чтобы не погружаться в специального рода расчеты, я просто еще раз процитирую английского автора Девиса из его книги “Суперсила”: “Решающее значение для исключения бесконечностей имела высокая степень симметрии, заложенная в электрослабой теории” [Там же. С. 135].

Поверим, как говорится, на слово знатоку достижений современной физики частиц и необычайно возвышенных проблем космологии. Так называемое “спонтанное нарушение симметрии” оказывается лишь сигналом к тому, чтобы искать и находить, как говорит Девис, симметрии “более высокой степени”.

Проблемы эти действительно захватывают нашу мысль, наше воображение. Мы изучаем различные взаимодействия частиц, их свойства, их многообразие. Но еще более волнует вопрос, как из этого многообразия частиц, их свойств, их взаимодействий может быть составлен Космос, весь наблюдаемый нами звездный мир? И может ли нам оказать помощь в разъяснении этого вопроса принцип симметрии?

Американский физик-теоретик Дж. Уилер (р. 1911) так описывает значимость одной из проблем, относящихся к изучению Космоса, иначе, Вселенной: “Из всех вопросов, занимавших мыслителей всех стран и всех столетий, ни один не может претендовать на большую значимость, чем вопрос о происхождении Вселенной” [Уилер Дж. А. Эйнштейн: что он хотел // Проблемы физики: классика и современность. М., 1982. С. 86].

Но попробуем спросить — а каким образом и на каком основании возник сам вопрос? Можно думать, что имеются три основания для того, чтобы сформулировать вопрос о происхождении Космоса: физическое, биологическое и теологическое.

Первое — физическое — основание содержалось, в качестве возможности, в общей теории относительности. В 1922—1924 гг. А.А.Фридман (1888—1925) вывел особые решения гравитационного уравнения Эйнштейна, продемонстрировав тем самым возможность того, что наблюдаемая Вселенная расширяется. Эйнштейн был вынужден согласиться с таким выводом, хотя первоначально выразил в этом сомнение. В 1929 г. Э.П.Хабл (1889—1953) сопоставил лучевые скорости галактик с расстоянием до них и нашел, что между этими величинами существует линейная зависимость. Эта зависимость послужила

основой для вывода о том, что теоретическое предсказание расширения Космоса подтверждается наблюдением.

Второе — биологическое — основание заключается в привычном наблюдении за развитием живых организмов. Об этом основании вопроса о происхождении Космоса выразительно писал Уилер: “При рассмотрении вселенной частиц и полей естественно обратиться на мгновение ко вселенной растительных и животных форм. В этих двух царствах жизни можно увидеть изумительный порядок и симметрию. Тем не менее все эти закономерности после Дарвина были объяснены как результат случайных мутаций и слепого выбора эволюции” [Уилер Дж.А. Квант и вселенная // *Астрофизика, кванты и теория относительности*. М. 1982. С. 536]. Подобно тому, как когда-то возникла жизнь на Земле, в необозримо отдаленные времена возник и Космос. Отсюда — на основании аналогии — вопрос о происхождении Вселенной.

Третье — теологическое — основание вопроса о происхождении Космоса коренится в вековых традициях религиозной мысли. Мир природный и мир человеческий сотворены Высшим Разумом и потому следует обратиться к научному исследованию, чтобы продемонстрировать как именно, какими основаниями руководствовался Высший Разум при сотворении Космоса.

Так фундаментально обоснованный вопрос — обоснованный физически, биологически и теологически — требует убедительных ответов на него. И такого рода ответы предлагает современная космология совместно с физикой частиц.

Обращаясь к попыткам ответить на упомянутый фундаментальный вопрос, “занимавший мыслителей всех стран и всех столетий”, мы замечаем необычайное разнообразие ответов. Вопрос настолько фундаментален, что критерий “современности” как истинности здесь совершенно не подходит.

Если обратиться к современным попыткам ответить на этот вопрос, то в этих попытках усматривается удивительная противоречивость в исходных принципах. С одной стороны, у исследователей нет сомнения в обоснованности вопроса о происхождении Космоса. Но с другой стороны, ответы о происхождении Вселенной опираются на идею “Великого объединения” известных взаимодействий. А теория великого объединения — это теория суперсимметрии. Но там, где симметрия, а в данном случае

еще и “суперсимметрия”, там и инвариантность, иначе говоря, понятие, снимающее вопрос о происхождении.

Но попытаемся вслушаться в теологические аргументы. В них не слышно сомнения в обоснованности вопроса — можно только услышать множество ответов на вопрос о происхождении мироздания. Безвременно погибший религиозный мыслитель Александр Мень, я полагаю, справедливо пишет, что “главный спор материализма и религии лежит за пределами экспериментального исследования и относится к проблеме начала и возникновения мироздания” [Мень А. История религии. Т. 1. Истоки религии. М., 1991. С. 59]. Нет сомнения, что проблема начала Космоса или, как называет его Мень, мироздания, лежит в области теоретической мысли, а не в области экспериментального исследования. Хотя, конечно, тут надо иметь в виду, что без теоретической мысли невозможен никакой эксперимент. Главная идея, однако, тут в том, что вопросы, подобные проблеме происхождения мироздания, сугубо теоретические вопросы.

Попытаемся ступить на зыбкую тропу абстрактного теоретизирования. С самого начала мы убеждаемся, что эта тропа пролегает *над* всеми известными формами интеллектуальной активности человека и тут нет твердой почвы, характерной для какой-либо одной формы специальной мысли. Твердую почву теоретизирования дает специализация с ее определенным, часто каноническим способом мышления, в котором твердо задано, что считать истинным, доказанным, а что не заслуживает такой оценки.

Так вот, спросим еще раз самих себя — а имеет ли смысл сам вопрос, а именно: как возник наш Космос, наше мироздание? Вне зависимости от того, кто его задает — специалист ученый, или специалист по истории и теории религии, или философ, к какой бы школе он не принадлежал.

Итак, вслушаемся в теологические способы теоретизирования, связанные со стремлением ответить на вопрос о происхождении Космоса. “...Повсюду в природе мы видим действие закона *причинности*”, — подчеркивает Александр Мень. Но среди видимых явлений мы не можем найти Первопринципа, не можем найти такого начала, который был бы причиной возникновения Вселенной. “В мире все относительно, все обусловлено какой-то другой причиной. Поэтому искать Абсо-

лютное, то есть самодовлеющее, безусловное начало, мы должны *вне мира*” [Там же. С. 52].

Сказанное Александром Менем совершенно справедливо, но только при условии, если мы принимаем принцип причинности как непереносимое условие объяснения и понимания явлений. Если спрашивать о *причине* возникновения Вселенной, то уже в самом вопросе, исходя из общепринятого понятия причинности, предполагается, что причина природного мира находится вне его. Ведь обычно считается, что причина явления, в данном случае причина Космоса, находится вне явления, то есть вне Космоса. Или остается только философски возвышенно утверждать, что природа или Космос суть причина самих себя. Но в последнем случае это будет уже другое понятие причинности, с другим содержанием.

Характерно, и это необходимо подчеркнуть, что теологи, стремящиеся опереться на идеи современной космологии, точнее, на современных космологов, как правило, включают в свою аргументацию принцип причинности. Во всяком случае, мне не приходилось встречать работы теологов, которые бы так или иначе не апеллировали к причинности. Приведу сравнительно недавнее выразительное высказывание члена Папской Академии наук Стенли Л. Яки в его книге “Бог и космологи”: “Истинная метафизика включает в себя ряд утверждений о Запредельной Реальности, являющейся причиной реальности самой вселенной. Эта причинная, онтологическая зависимость вселенной от Реальности, пребывающей вне вселенной, проявляется в условности вселенной — понятии, о котором подробнее скажем в дальнейшем. Понимаемая в этом смысле истина об условности вселенной предполагает, что хотя вселенная по определению является совокупностью взаимодействующих объектов, можно сделать вывод о существовании чего-либо за пределами вселенной” [Яки Стенли Л. Бог и космологи. Долгопрудный, 1993. С. 106].

И еще — обратим внимание, что ссылка на принцип причинности характерна не только для теологов православной веры, но и католической. В этом можно видеть существенное значение принципа причинности в теологической интерпретации достижений современной космологии. Существенность этого принципа в отстаивании своей концепции явно осознает С.Л.Яки. Защите принципа причинности он посвящает специальный раздел своей книги, который он назвал “Ненаучная

подоплека атаки на принцип причинности” Я был несказанно удивлен необычной тональности критики тех современных физиков, которые усомнились в общности этого принципа: С.Л.Яки беспощаден в оценках противников принципа причинности. И не только современные физики, но даже Э.Мах, предлагавший заменить классическую концепцию причинности новой, функциональной, подвергнут уничтожающему разному в труде современного теолога.

Удивительно, что стиль и направленность критики идей индетерминизма у современного католического теолога, в особенности стиль критики концепций, связанных с копенгагенской интерпретацией квантовой механики, поразительно напоминает мне критические публикации некоторых советских философов конца сороковых и начала пятидесятых годов. В статьях и книгах того времени особенно беспощадным нападкам подвергались сомнения в общности принципа причинности, высказываемые Гейзенбергом и другими физиками, в связи с принципом неопределенности.

Познакомимся еще с одним из высказываний С.Л.Яки: “Физики, разделявшие либо кантианские, либо махистские представления о причинности, не могли испытывать никакого сожаления в связи с упразднением Гейзенбергом причинности в терминах соотношения неопределенностей, даже если бы Гейзенберг и потрудился упомянуть об онтологии. В частности, понимаемое как простая математическая функция, махистское понятие случайности легко допускало статистическое перетолкование, требуемое квантовой механикой. Принимая соотношение неопределенностей Гейзенберга за окончательное ниспровержение принципа причинности, физики англосаксонского мира, где эмпиризм и прагматизм успели дискредитировать проблемы онтологии, не испытывали никаких терзаний. Ведущие физики с нутряным чувством реальности не смогли понять, что поставлено на карту” [Там же. С. 148].

А на карту был поставлен теологический ответ на вопрос о происхождении Космоса, другими словами, вопрос о творении Вселенной. Ибо вопрос терял смысл, если полагать, что принцип причинности не может быть принципом объяснения мира. А между тем существо разногласий и характер ответов коренится в самом вопросе, который формулируется таким образом, что предполагает поиски причин происхождения Космоса, существующих где-то вне самого Космоса.

Вопрос о творении мира, о происхождении Космоса, как заметил Уитроу, занимал мыслителей “всех стран и всех столетий” Вопрос этот оказался исторически плодотворным. Исследование этого вопроса несомненно повлияло на процесс рождения европейской науки. П.П.Гайденко в статье “Христианство и генезис новоевропейского естествознания” детально анализирует эту познавательную ситуацию. Она, в частности, излагает размышления Беды Достопочтенного (674—735). Английский философ раннего средневековья “выделяет четыре значения понятия “божественное творение” Первое — это идея творения, которая так же вечна, как сам Творец, и всегда пребывала в замысле, или в уме Бога. Второе — это сотворение материи мира, она-то и есть творение из ничего в собственном смысле слова. Третье — формирование первоначальной бесформенной материи, создание из нее всего многообразия существующего мира. И наконец, четвертое значение: непрерывно продолжающееся сохранение сотворенного, существующего лишь благодаря животворящей силе, исходящей от Бога” [Гайденко П.П. Христианство и генезис новоевропейского естествознания // Вопр. истории естествознания и техники. 1995. № 1. С. 8].

Исторически наиболее существенным для формирования естествознания оказалось четвертое значение идеи творения. Именно с этим значением идеи творения связан упомянутый уже принцип сохранения движения, сформулированный Декартом. “Раз Бог, — писал французский философ, — при сотворении материи наделил отдельные ее части различными движениями и сохраняет их все тем же образом и на основании тех же самых законов, по каким их создал, то он и далее непрерывно сохраняет в материи равное количество движения” [Декарт Р. Начала философии // Декарт Р. Избранные произведения. М., 1950. С. 485-486].

Однако историческое принятие идеи сохранения не было таким однозначным, как бы очевидно вытекающим из идеи творения. Примером тому является тот исторический факт, что проблема сохранения или несохранения движения в связи с идеей творения стала предметом полемики между Лейбницем и Кларком, представляющим идеи Ньютона [Полемика Г.Лейбница и С.Кларка. Л., 1960]. Воззрения Ньютона, представленные Кларком, допускают как возможность не только сотворение, но и уничтожение движения.

В связи с идеей творения мироздания Лейбниц полагает, что мысль о возможности уничтожения движения в природном мире умаляет совершенство Бога. Получается, что Бог подобен мастеру, который изготовил такие часы, которые непрестанно надо подправлять и придавать им ход. Так может поступать только плохой мастер. Совершенство Бога в том, что он создал совершенный мир, который не нуждается в постоянном ремонте и подправлении. Поэтому движение в сотворенном мире должно сохраняться. Стронник Ньютона отвечал, что, напротив, совершенство Бога видится в том, что Он постоянно присутствует во всех природных процессах и направляет их. Поэтому вполне допустимо, что движение в сотворенном мире может и не сохраняться.

Да, вопрос о происхождении Космоса и попытки ответить на него были исторически плодотворными. Но плодотворность идеи это еще не критерий ее истинности. “Когда б вы знали из какого сора растут стихи, не ведая стыда”, — писала Анна Ахматова. И не только стихи, но и многие другие высокие и истинные интеллектуальные достижения могут вырастать из ложных концепций. Примером этому могут служить методологические идеи Декарта и Бэкона. Один из них провозгласил в качестве источников знания отчетливые и ясные идеи, другой результаты опыта. И хотя, как убежден Поппер (и я склонен с ним согласиться), эти идеи были плодотворными, они, тем не менее были ложными — и Декарт и Бэкон заменили один авторитарный источник знания другим, не менее авторитарным. Такова парадоксальная особенность человеческого познания [*Поппер К. Об источниках знания и незнания // Вопр. истории естествознания и техники. 1992. № 3. С. 5-30*].

Исторические и логические ходы получения истинного знания еще требуют своего эпистемологического исследования. Это одна из вечных и далеко еще не решенных проблем методологической мысли. Известно только, что достоверное знание может быть получено из заведомо ошибочных утверждений или даже очевидно ложных концепций. Ясно только одно — если мы имеем дело с проверенными и истинными положениями, то сам факт этой истинности не может служить обоснованием истинности тех концепций, из которых исторически или логически получены достоверные знания. Если внимательно всматриваться в историю научного знания, то можно усмотреть удивительный феномен — несомненно истинные, как мы по-

лагаем ныне, научные теории возникли из явно ложных, как мы теперь убеждены, теоретических концепций. Размышляя об удивительной эффективности математики в естественных науках, Е. Вигнер, заметил между прочим, что “некоторые теории, ошибочность которых на*з*аведомо известна, позволяют получать удивительно точные результаты” [Вигнер Е. Непостижимая эффективность математики в естественных науках // Этюды о симметрии. М., 1971. С. 196].

Вопрос о начале Космоса связан с необходимостью помыслить и о природе времени. Этот вопрос ведет нас не только за пределы нашего мира, но и за пределы времени. Эти выходы в запредельные области нашего существования опять-таки коренятся в самом вопросе, неявно содержатся в нем. Неудивительно, что и теологические традиции, и новейшие космологические идеи в этом отношении вынуждены прийти к сходным умозаключениям. Сходство определено характером вопроса.

А между тем, если обратиться к понятию времени и попытаться сопоставить его с понятием вечности, то другая постановка вопроса, не связанная поисками причин Космоса, позволяет увидеть глубинную связь этих фундаментальных понятий — вечности и времени. На эту связь обратил внимание Н.А. Бердяев (1874—1948) в связи с анализом смысла истории. “То, что мы называем временем в нашем мировом историческом процессе, — писал философ, — в нашей мировой действительности, представляющей процесс во времени, — это время есть какой-то внутренний период, какая-то внутренняя эпоха самой вечности. Это значит, что существует не только наше земное время, в нашей земной действительности, но существует истинное небесное время, в которое это время внедрено и которое оно отражает и выражает; что существуют, по выражению старинных гностиков, зоны божественной глубины бытия” [Бердяев Н.А. Время и вечность // Философия и мировоззрение. М., 1990. С. 403].

“Со времени Фомы Аквинского, — пишет Александр Мень, — богословы высказывали мнение, что Вселенная могла и не иметь “начала” во времени, ибо сам творческий акт по природе своей является вневременным. Астрономия и физика наших дней тоже оставляет вопрос о “начале” открытым, однако они говорят об эволюции Вселенной, которая имела некую исходную точку. Согласно наиболее распространенной сегодня теории, весь пространственно-временной космос воз-

ник несколько миллиардов лет назад в результате взрыва Первоатома, и с того момента началось продолжающееся и поныне стремительное разбегание галактик. По мнению одних ученых, этот взрыв был единичным событием, другие же полагают, что Вселенная периодически проходит через циклы сжатия и расширения” [Мень А. История религии. Т. 1. М., 1991. С. 59-60].

Вслушиваясь в аргументацию древних и современных теологов и современных космологов, я напоминаю сам себе, а значит, и читателю, что все многообразие ответов на вопрос о происхождении Космоса необходимо осмыслить в контексте принципа симметрии. Этот контекст обязывает иметь в виду, что принцип симметрии, поскольку современная космология ищет и находит глубинные симметрии, вынуждает усматривать в современном научном знании инварианты, позволяющие объяснить и в какой-то мере понять космологические процессы. Время нашего Космоса содержит в себе вечность; время и вечность составляют органический сплав природного бытия. Через симметрию вечность входит в бытие нашего Космоса.

Я готов принять любые ответы на вопрос о происхождении Космоса и попытаться осмыслить их — и теологические, и космологические ответы. Но как мне быть с глубинными симметриями, о значении которых современные космологи лишь упоминают, хотя и опираются на них в своих исследованиях, но не делают отсюда выводов о характере самого знания? И что ответить теологам, которые либо совершенно не упоминают о принципе симметрии, либо подчеркивают факты нарушения симметрии, не вникая в более глубокие процессы, которые явно демонстрируют нам неизбежность сохранения симметрии, ибо обнаружение нарушения какой-либо одной формы симметрии неизбежно компенсируется обнаружением другой ее формы.

Так уже упоминаемый современный теолог С.Л.Яки подробно описывает ситуацию, связанную с нарушением закона сохранения четности при изучении К частиц (“тау” и “тэта” частиц). Однако он совершенно не упоминает об открытии, сделанном в этой связи, — комбинированной четности, то есть симметрии, компенсирующей нарушение. И конечно же, я не нашел в его книге и намека на теорему Людерса-Паули (симметрия СРТ), хорошо известной физикам-теоретикам [Яки Стенли Л. Бог и космологи. С. 56-61].



А между тем принцип симметрии, в связке с другими методологическими принципами, по-прежнему служит основанием знания. Отсюда можно заключить, что в основании знания, в том числе знания о Космосе, мы явно видим принцип вечности существования, принцип этернализма. Напомним, что симметрия в качестве основного принципа знания о Космосе представляет собою супресимметрию, объединяющую собою все известные ныне взаимодействия частиц, из которых построен Космос.

Мне остается лишь удивляться и восхищаться неисчерпаемыми возможностями человеческого интеллекта, который позволяет выдвигать необозримое число самых различных и основательно развернутых ответов. Но приверженность принципу симметрии в его широком эпистемологическом значении вынуждает меня усомниться в обоснованности вопроса о происхождении Космоса. Я вижу, как в самом вопросе уже содержится определенная направленность ответов. Вопрос предполагает найти *причину* рождения Космоса. Вопрос направляет мысль в определенное русло и по этому руслу, как видно в истории знания, идет мысль, предлагая многообразные решения на определенно поставленный вопрос.

И теологи, и современные космологи ищут *причину* творения. И те, и другие надеются, каждый по-своему, найти причинное объяснение происхождения природного мира. И те, и другие не сомневаются, что мир когда-то произошел или был сотворен. Принцип причинности и у тех, и у других работает в качестве принципа объяснения. Неудивительно поэтому, что Александр Мень превосходно знает современные космологические идеи и справедливо усматривает в них дополнительные аргументы в обосновании теологических ответов на вопрос о происхождении Космоса. Различие состоит лишь в том, что теолог убежден (вспомним его высказывание), что "...вся Вселенная, как колоссальная сумма явлений, должна иметь такую Первопричину своего существования, которая заключала бы в себе принципы всего мироздания. Но среди видимых явлений мы этого Первопринципа обнаружить не можем... Поэтому искать Абсолютное, то есть самодовлеющее начало, мы должны *вне* мира" [Мень А. История религии. Т. 1. С. 52]. В отличие от теолога современный космолог стремится найти такую причину в самой природе. И, конечно же, не находит. А теолог

предлагает вполне определенный ответ, обоснованный вековой традицией.

Но это методологическое сходство различных поисков *причин* происхождения космоса невольно вынуждает меня обратиться к принципу причинности как принципу объяснения. Я могу сослаться на историю знания, которая, как и любая другая история, ничему не учит. Но к этой известной присказке можно добавить: история ничему не учит, но иногда, хотя и редко, все же наказывает за пренебрежение ее уроками.

Так вот, как я вижу, история знания демонстрирует нам постепенный отход от причинности как принципа объяснения. И этот урок, к сожалению, невероятно трудно усвоить. Аристотель понимал причинное объяснение весьма широко: причинное объяснение сводится к поискам причины действующей, причины материальной, причины формальной и причины целевой.

Но уже в средние века происходит отход от широкого аристотелевского понимания причинности как принципа объяснения. Гайденко в уже цитируемой работе пишет: “Характерно, что схоластическая физика, начиная с XIII, а особенно в XIV в., ищет действующие причины там, где Аристотель указывает на причины целевые” [Гайденко П.П. Христианство и генезис новоевропейского естествознания // Вопр. истории естествознания и техники. 1995. № 1. С. 7]. Жан Буридан — философ и физик XIV в. полностью исключает целевые причины и полагает в основу объяснения только причины действующие. Историки науки показывают, что исследования Буридана оказали существенное влияние на молодого Галилея. Возможно также, что физику Буридана и его критику учения Аристотеля о четырех причинах знал и Декарт.

В науке XVII в. причина понимается исключительно как причина действующая. Но уже в механике Ньютона обнаруживается ограниченность этого принципа. Согласно принципу причинности *все* явления природы подчиняются этому принципу. Иначе говоря, любое явление имеет в качестве причины действие определенных сил. А между тем движение по инерции, составляющее содержание первого закона механики, не требует никаких сил. Тут вступает в действие другой принцип, а именно принцип сохранения движения, не требующий причинных отношений. Можно сказать, что уже классическая механика обнаружила первый изъян в принципе причинности,

выявила первое ограничение в объяснительной функции этого принципа.

Однако при этом обнаруживается проявление принципа инерции человеческой мысли — считается, что классическая механика представляет собою образец действия принципа причинности, применимого ко всем явлениям природы. А первый закон механики, закон инерции, представляется всего лишь простым следствием основного закона движения.

В XX веке квантовая механика продемонстрировала ограниченность применимости принципа причинности при исследовании микропроцессов. Однако инерция мысли такова, что и поныне при решении самых различных вопросов и, в частности, вопроса о происхождении Космоса, идея причинности оказывается решающей. Эта идея содержится, как я уже подчеркивал, в самой формулировке вопроса.

Трудно отказаться от идеи причинности, от принципа, на котором, как представляется, построено все наше знание. Но дело в том, что мы можем строить и ныне действительно строим знание на других принципах. Принцип причинности давно уже начинает отступать на задний план в современных стремлениях объяснить мир. Мое критическое отношение к принципу причинности и сомнение в его познавательной значимости совсем не ново — достаточно упомянуть основательный критический анализ этого понятия и соответствующего принципа Юмом и Кантом. А из философов XX в. сошлемся на Поппера, который провел основательный анализ этой проблемы. Он убедительно показал, что принцип “научного” детерминизма не выполняется не только в квантовой теории, но и в классической физике. Этой проблеме он посвятил специальное исследование [*Popper Karl R. The Open Universe — An Argument for Indeterminism. Totowa. New Jersey, 1956*].

Ныне на первый план выступают такие понятия и соответствующие принципы, как “сохранение”, “симметрия”, “структура”, “система” Свыше четверти века назад (как быстро протекает индивидуальное время!) мне пришлось написать по этому поводу следующее: “Идеалом научного объяснения явлений природы в классическом естествознании было причинное объяснение. Явление считалось понятным и объясненным, если найдена его причина. В этом заключалась цель науки. Именно ради этой высокой цели можно было предпочесть науку любому другому роду деятельности. Уже Демокрит выра-

зил образно эту мысль, утверждая, что он предпочел бы найти одно причинное объяснение, нежели приобрести персидский престол. В античную эпоху, однако, был найден и другой тип объяснения, который можно назвать объяснением через структуру или, проще, структурным объяснением. В развитой форме структурное объяснение явлений природы типично для современного естествознания” [Овчинников Н.Ф. Структура и симметрия // Системные исследования. М., 1969. С. 111].

Я не отвергаю ныне ни космологических, ни теологических ответов на вопрос о происхождении Космоса. Эти ответы могут еще оказать плодотворное влияние на ход познания нашего мира — наблюдаемого и трансцендентного. Вне зависимости от того, как мы будем оценивать эти ответы. Я повторю — плодотворность какой-либо идеи еще не означает ее истинности, хотя и повышает вероятность приближения к истине.

Меня занимают неисповедимые еще пути познания, которые могут возникнуть на наших глазах, если мы откажемся от вопроса о происхождении Космоса. Необъятный и лишь в ничтожной своей части познанный мир мне хотелось бы представлять как всегда существующий. В этой мысли меня укрепляет тот удивительный факт, что и теологические, и современные космологические ответы на вопрос о происхождении Космоса, пусть по-разному, но в своей основе одинаково приходят к понятию вечности. В теологических ответах речь идет о вечности Высшего Разума, творящего мир, в современных космологических теориях речь идет о “Высших симметриях” Иначе говоря, современные космологические идеи непременно предполагают определенные инварианты, положенные в основание изменяющегося мира. Во всем этом можно видеть поразительное проявление своеобразной метасимметрии исторически объективного познавательного процесса.

Остается только заметить, что после того, как были написаны эти строки, выражающие мои попытки осмыслить проблемы, связанные с познанием частиц и Космоса, появились две статьи, которые, пусть с другой аргументацией, но подкрепляют мое понимание современной познавательной ситуации. Это статья Г.В.Гивишвили “Есть ли у естествознания альтернатива Богу?” [Вопр. философии. 1995. № 2. С. 37-47] и статья А.Грюнбаума “Происхождение против творения в физической космологии

(теологические искажения современной физической космологии)” [Вопр. философии. 1995. № 2. С. 48-60].

В статье Гивишвили я отмечу лишь одну мысль, существенную для анализа методологических принципов, мысль, подкрепляющую принцип этернализма — утверждение о вечности Космоса. “Так как бытие (существование), — пишет автор статьи, — проявляется единственным образом — в движении вещества-излучения, а движение любого рода (в том числе и развитие) происходит во времени и пространстве, условие стационарности Вселенной фактически означает признание принципа неуничтожимости и несотворимости вещества-излучения и космологического пространства-времени” [Вопр. философии. 1995. № 2. С. 45].

И конечно же, в связи с принципом этернализма особенное внимание привлекает по-своему оптимистическое утверждение автора: “Неверно думать, что человек ищет знаний, чтобы подчинить себе природу, тогда как в действительности, умножая знания, человек помогает Природе обретать бесконечное бытие” [Вопр. философии. 1995. № 2. С. 47]. Призыв автора к “переоценке ценностей” в отношении роли человека во Вселенной, я полагаю, имеет все основания быть услышанным.

Обращаясь к проблеме происхождения и развития органического мира, Гивишвили подчеркивает безуспешность попыток решить проблему возникновения жизни. Выход из познавательной ситуации он видит в отказе от двух принципов: а) от принципа переноса представлений о видимой части Вселенной на всю Вселенную и б) от понимания человека как случайного и пассивного элемента природы. Этот отказ, я думаю, плодотворен. И Гивишвили демонстрирует плодотворность такого отказа. Заметим, что плодотворность эта опирается на новые принципы, сформулированные им в качестве допущений. Скажем, принцип вечности Вселенной, принцип усложнения самоорганизации и, наконец, принцип передачи “эстафеты жизни”

Я думаю, что возможен и другой ход размышлений, связанный с безуспешностью попыток решить проблему возникновения жизни. Безуспешность этих попыток невольно обращает мысль к аналогичным ситуациям в истории науки. Безуспешность попыток получить энергию из ничего, построить вечный двигатель привели к принципу запрета — к мысли о принципиальной невозможности построить такой двигатель.

А в конечном счете к формулировке принципа сохранения энергии. Опыт истории знания подсказывает, что можно сформулировать аналогичный принцип запрета в области изучения явлений жизни — нет смысла решать проблему происхождения жизни. Более плодотворным в познавательном отношении будет принять принцип вечности жизни: несотворимости ее, хотя, возможно, и уничтожимости в отдельных областях Космоса, в том числе и на нашей Земле — нашими собственными неразумными действиями. Вспомним, что принцип вечности жизни был склонен принять В.И.Вернадский. Дело специального исследования — возвести на основании этого принципа здание современной теоретической биологии.

Статья Грюнбаума существенна для меня тем, что в ней я впервые в современных работах нашел явное подкрепление той мысли, что убеждение в существенности причинных отношений положено в основание теологического решения проблемы существования Космоса. Полемизируя с современными теологами, Грюнбаум утверждает, что их вопрос о творении Вселенной “является псевдопроблемой” Он настаивает на том, что “эти вопросы по сути неверно сформулированы” [Вопр. философии. 1995. № 2. С. 50].

Хотя я вынужден заметить, что в отношении принципа причинности Грюнбаум не столь радикален, как этого требует, на мой взгляд, современная познавательная ситуация. Рассматривая проблему существования Вселенной, американский профессор пишет следующее: “Но необходимо различать причину основ бытия, которую проповедовал Фома Аквинский, от просто трансформативной причины, которая вносит изменения в уже существующие вещи, или порождает новые реалии из ранее существовавших объектов” [Вопр. философии. 1995. № 2. С. 55].

Конечно, принцип причинности в качестве объясняющего основоположения остается и, по-видимому, останется в обыденном сознании. Этот принцип остается и в науке, поскольку наука представляет собою, по выражению Эйнштейна, не что иное, как усовершенствование обыденного мышления. Однако в глубинных и решающих проблемах науки, связанных, скажем, с познанием микромира или структуры и жизни Космоса, принцип причинности, как можно заметить, наблюдая современные научные теории, отходит на периферию познавательного процесса. Ранее уже пришлось заметить, что на первый план выступают принципы сохранения симметрии, равно как структурный и системный подходы.

Вероятность, случайность, независимость

1. Триумф вероятности: факты

Идея вероятности — одна из основополагающих и интригующих идей, лежащих в фундаменте современной науки. Если историю познания в глобальном плане подразделить, как это ныне делается, на классический, неклассический и постнеклассический этапы ее развития, то вероятность, на наш взгляд, в наибольшей степени олицетворяет неклассическую науку. Это, конечно, не означает, что идея вероятности ныне сходит со сцены, напротив, поскольку знания развиваются преимущественно, вероятность лежит в основаниях современных преобразований в концептуальном аппарате науки.

Представления о вероятности зародились еще в древности. Там они относились к характеристике нашего знания — признавалось наличие вероятностного знания, отличающегося от достоверного (истинностного) знания и от ложного (заблуждения). Как замечает Б. Рассел, два скептика, Карнеад и Клитомас, “ополчились против верования в божество, магию и астрологию, которое все более и более распространялось. Они также развили конструктивную доктрину, трактующую о степенях вероятности, хотя наше чувство уверенности никогда не может быть оправдано — одни вещи кажутся более истинными, чем другие. Вероятность должна руководить нами на практике, ибо благоразумие требует действовать согласно наиболее вероятной из возможных гипотез”¹.

Зарождение математического учения о вероятности относится к XVII веку, когда было положено начало разработке соответствующего ядра понятий, выражающих вероятностную идею. В качестве базовых моделей здесь выступили модели азартных игр. Схемы этих игр, как отмечает, например,

Е.С.Вентцель², дают чрезвычайно простые модели теоретико-вероятностных явлений, позволяющие в наиболее отчетливой и наглядной форме наблюдать и изучать закономерности соответствующих процессов.

В реальное познание действительности вероятность уверенно вошла в прошлом веке. Методы исследования, опирающиеся на теорию вероятностей, во многом и решающем обеспечили, начиная со второй половины XIX века, колоссальный прогресс наших знаний о природе. Революционное проникновение физики в интимные структуры материи неотделимо от вероятностных представлений. Вхождение вероятности в структуру физических методов исследования обеспечили два грандиозных прорыва физики: в структуру вещества (классическая статистическая физика) и в структуру атома и атомных процессов (квантовая механика). Квантовая теория, в основание которой вероятность входит имманентным образом, является базисной и в познании мира элементарных частиц. В литературе³ также отмечается, что само становление физического познания освящено вероятностными представлениями. Физика немыслима вне измерений, а первые же попытки осмыслить и оценить практику измерительных процедур опираются на вероятностные представления, связанные с установлением в конце восемнадцатого столетия закона распределения ошибок измерения, сугубо вероятностного.

Не менее грандиозное значение имеют вероятностные идеи и в развитии биологии, ее основополагающих теорий о строении и эволюции живого. На вероятностные представления практически опирается уже эволюционная теория Дарвина. Проблема эволюции органического мира чрезвычайно сложна. В теории Дарвина сформулированы лишь исходные понятия феноменологического порядка, прежде всего — изменчивости, наследственности и отбора. Анализ взаимоотношений между этими понятиями немыслим вне того, что называется вероятностным способом мышления.

Интенсивные применения вероятностных идей и методов в биологии связаны со становлением и развитием генной теории. Законы генетики в своей основе являются вероятностными. В ходе их разработки происходит не только применение, но и совершенствование методов собственно теории вероятностей как математической дисциплины. И современные исследования проблем эволюции и организации живых систем как

ведущих проблем биологии немыслимы без привлечения вероятностных идей.

Вероятностные идеи и методы исследований интенсивно входят практически в каждую из наук о природе — в химию, геологию, географию, в учение о мозге и т.п. Везде, где наука сталкивается со сложностью, с исследованием сложных и сложноорганизованных систем, вероятность приобретает важнейшее значение. Весьма существенно также, что вероятность входит в структуру обобщающих наук, в развитие интеграционных процессов современной науки. В середине нашего века в качестве одного из важнейших таких направлений исследования выступила кибернетика. Излагая основные идеи кибернетики, “отец кибернетики” Н. Винер писал: “Эта книга посвящена рассмотрению воздействия точки зрения Гиббса на современную жизнь как путем непосредственных изменений, вызванных ею в творческой науке, так и путем тех изменений, которые она косвенным образом вызвала в нашем отношении к жизни вообще”⁴ С именем же Гиббса Н. Винер связывал радикальное становление и развитие вероятностной точки зрения на устройство мира и основания знаний. Подчеркивая фундаментальное значение вероятностных идей в развитии современной физики, Н. Винер писал, что “именно Гиббсу, а не Альберту Эйнштейну, Вернеру Гейзенбергу или Максцу Планку мы должны приписать первую великую революцию в физике XX века”⁵

Идея вероятности имеет важнейшее значение и для наук об обществе. Она входит прежде всего в статистику как науку о количественных соотношениях в массовых общественных явлениях. В основе же своей идея вероятности входит в общественные науки опосредованным образом. При анализе оснований вхождения человека в различные общественные структуры мы исходим из признания наличия в каждом человеке собственного, независимого начала. Аналогичным образом, при рассмотрении взаимоотношений различных общественных структур (прежде всего — экономических) мы также исходим из признания определенной самостоятельности и независимости этих структур. Подобные исходные установки, когда признается наличие у компонентов систем самостоятельного и независимого начала, практически и выражают основополагающую идею вероятности. Заметим, только, что в случае общественных явлений выделить теоретико-вероятностные взаимоотно-

шения в “чистом” виде весьма сложно, поскольку здесь на взаимоотношения исходных структур накладываются многие другие зависимости.

2. Случай — бог изобретатель

Столь фундаментальное воздействие вероятности на развитие науки означает, что мы имеем дело с глубокой внутренней революцией в системе научного познания. Вероятностные методы лежат на магистральном пути развития науки и означают коренные преобразования в общей модели бытия и познания. При первых же попытках понять столь принципиальное значение вероятности ее содержание стали раскрывать на базе представлений о случайности. Недаром теорию вероятностей зачастую называют наукой о случайном, а в представлениях ученых вероятность и случайность практически нерасторжимы.

Понятие случайности является первичным. Оно не поддается определению через некоторые иные, более общие понятия. Для раскрытия содержания понятия случайности необходимо его прямое соотнесение с “соответствующими” процессами и явлениями действительности. Только овладев практикой “общения” со случайностью, можно наиболее полно сказать и о ее содержании.

В своих исходных посылах случайность определяется как отсутствие закономерности и, что взаимосвязано, как непредсказуемость соответствующих явлений и процессов. Наличие чувства непредсказуемости дает основания на встречу с нечто необычным, чудесным, а эти встречи с непредсказуемым, окрашенные надеждами на чудо, делают саму жизнь разнообразней, интересней и привлекательней. Недаром А.Пушкин назвал случай “богом изобретателем”

Представления о случае зародились в древности, при самых первых попытках осознания человеком своего бытия. Они стали необходимыми при объяснении поведения человека, его судеб, или же, как сейчас нередко говорят, его жизненной траектории в многомерном мире. И сразу же выяснилось, что случай сопоставлен с необходимостью. Поэтический язык древних воплотил соответствующие представления в образах богинь человеческих судеб: Ананке — неумолимая необходимость, Тихе — слепой случай. Вне случая невозможно понять жизнь че-

ловека во времени. Более того, случайность стала характеризоваться и как “регулятор” жизненных процессов. Эмпедокл, отмечал Рассел, “рассматривал ход вещей как регулируемый скорее случайностью и необходимостью, чем целью. В этом отношении его философия была более научной, чем философия Парменида, Платона и Аристотеля”⁶.

В дальнейшей истории культуры представления о случае также преимущественно связывались с раскрытием основ поведения человека. Наиболее концентрированным образом они высвечивались при раскрытии представлений о свободе воли человека. Свобода воли прерывает те жесткие неумолимые связи и воздействия, в которые вплетен человек, и тем самым позволяет ему стать творцом нового и осознать свою силу и самостоятельность. Представления о случае начали соотноситься с раскрытием высших творческих возможностей и ценностей человеческой личности⁷.

Новый этап в познании случая начинается со времени вхождения вероятности в структуру физико-математического естествознания. Этот этап характерен тем, что вырабатываются научные основы в понимании случайности. В теоретическом знании начало формироваться ядро понятий, выражающих идею случая. Первостепенное значение здесь имеет развитие физики.

Физика изучает наиболее глубинные уровни материального мира, а потому ее “слово” в познании случая имеет первостепенное значение: значимость случая в общих воззрениях пропорциональна тому, какую роль он играет в “основаниях” строения мира. Однако следует отметить, что первоначально физика, да и наука в целом отторгали случай. В рамках первых физических теорий не было места для случайности. Этот период в ее развитии характеризуется как классический. Базисные модели в этих случаях строятся по образцу и подобию классической механики. Все связи и отношения в материальном мире рассматривались наподобие механических, т.е. имеющих строго однозначный характер. Если в научном анализе приходили к решениям, включающим в себя неоднозначность и неопределенность, то соответствующее знание рассматривалось как неполное выражение знаний об исследуемых объектах, лишь как подход к истине или же как результат некорректной постановки задачи. Соответственно этому конструктивную роль в познании играла лишь необходимость, к тому же рассматривае-

мая наподобие механической. За случайностью объективной основы практически не признавалось. Такая познавательная установка, такой стиль научного мышления хорошо выражены в словах П.Гольбаха: “Ничего в природе не может произойти случайно; все следует определенным законам; эти законы являются лишь необходимой связью определенных следствий с их причинами... Говорить о случайном сцеплении атомов либо приписывать некоторые следствия случайности — значит говорить о неведении законов, по которым тела действуют, встречаются, соединяются либо разъединяются”⁸.

С подобных взглядов на случайность и началось рассмотрение основ вероятности в физическом познании. Вероятностные методы породили представления о новом классе закономерностей в природе — о статистических закономерностях. Несмотря на громадное значение статистических теорий в развитии познания, вопросы их обоснования, истолкования и понимания все еще вызывают дискуссии и во многом остаются открытыми. Это касается уже классической статистической физики — исторически первого научного представления, в ходе разработки которого родились строгие представления о статистических закономерностях. Со времени становления классической статистической физики и до наших дней широко распространены утверждения, что к статистическим методам мы вынуждены обращаться вследствие того, что по тем или иным причинам не можем получить достаточно полного и детального описания исследуемых систем. Подобный подход имеет определенное историческое оправдание. Статистическая физика разрабатывалась в ходе приложений обычной (классической, ньютоновой) механики к системам, состоящим из огромнейшего числа частиц. Реально такими системами явились газы. Первоначально газ теоретически рассматривался как своеобразная механическая система.

Анализ механических систем типа газовых необычайно сложен: нужно составить огромное число уравнений, задать соответствующие начальные условия и провести громоздкие вычисления. В докомпьютерные времена говорили, что для решения подобных задач не хватило бы никакой бумаги, никаких чернил, никакого времени. Но и появление компьютеров не спасает ситуацию хотя бы потому, что возможности задания начальных условий для таких систем весьма проблематичны.

Однако при анализе систем типа газовых оказались весьма плодотворными идеи и методы теории вероятностей, которые и образовали математический аппарат статистических теорий. И когда встал вопрос, насколько эти изменения принципиальны, практически сразу же возникли утверждения, что обращение к методам статистической физики диктуется необходимостью упрощающих соображений. Иначе говоря, обращение к статистическим теориям — результат неполноты наших знаний. Соответственно этому статистические теории и по сию пору нередко рассматриваются как неполные, т.е. как неполноценные в логическом отношении.

По мере развития познания вырабатывались и иные подходы к трактовке статистических закономерностей. Один из основателей статистической физики — Дж.Максвелл — отмечал, что переход от строго динамических законов механики к теоретико-вероятностным означает коренное изменение в методах исследования, вызывающее далеко идущие последствия. Эти преобразования обусловлены не трудностями решать задачи на путях механики, а переходом физики от исследования простых механических систем к системам, имеющим иную физическую природу, в качестве которых выступили газы. За статистическими закономерностями все более и более стала признаваться их самостоятельная ценность, их полнота и несводимость к иным типам законов, прежде всего — к законам жесткой детерминации, которые были характерны для естествознания до разработки статистической физики.

Произошедшие преобразования в мышлении выражаются в том, что в структуру научной теории, в структуру закона была включена случайность. Ныне это широко признается самым существенным признаком для понимания природы статистических законов. Тем самым трактовка последних прямо зависит от того, как мы понимаем случайность, какое место отводим ей в наших представлениях о мире и его познании. Трактовка статистических закономерностей как следствие неполноты наших знаний и основывается практически на отрицании объективной значимости случайности.

Иной, научный подход к анализу случайности стал вырабатываться в ходе становления теории вероятностей и ее приложений. Уже предмет теории вероятностей обычно определяется как изучение массовых случайных явлений (событий). Исходным ее понятием является понятие случайного события.

С анализа этого понятия начинается практически любое учебное пособие по теории вероятностей. Под случайным событием понимают некоторый факт, который при определенных условиях может произойти или не произойти. В теории вероятностей понятие случайного события определяется лишь тем, произошло оно или нет, а не его конкретной природой. Последнее может породить некоторые недоуменные вопросы. Если факт имел место, то его можно наблюдать и зафиксировать научными методами. А если данного факта не было, то на каком основании можно утверждать, что имело место его отрицание? Ведь научные утверждения относятся в конечном счете к тому, что происходит в действительности.

Обычно под выражением “быть или не быть” понимается многое. Если некоторое случайное событие не произошло, то это означает, что произошло его отрицание, т.е. некоторое другое событие. При этом существенно, чтобы это иное событие-заменитель относилось к тому же самому массовому явлению, из которого исходит теория вероятностей при определении своего предмета.

Из сказанного следует, что понятие случайности в теории вероятностей относится прежде всего к характеристике отдельных событий, совокупность которых образует массовое явление, изучаемое в рамках этой дисциплины. Случайность соотносится именно с отдельными событиями и выражает тот факт, что отдельные события в массовом явлении независимы и появление каждого из них не обусловлено другими событиями. Именно при таком подходе раскрываются основы объективного понимания природы случайного.

3. Независимость

Понятие случайного события характеризует прежде всего природу отдельных элементов массовых явлений, изучаемых в рамках теории вероятностей. Однако для описания любого массового явления весьма важное, если не определяющее, значение имеет его структурная характеристика, выражающая особенности взаимоотношений между элементами, образующими само массовое явление. Для отображения структуры массового явления в теории вероятностей используется понятие независимости: в рамках данного массового явления наступление од-

ного из случайных событий не зависит и не определяется другими событиями, между элементами массового явления нет постоянно действующих связей, либо же они носят несущественный характер.

Понятие независимости входит в систему базовых понятий теории вероятностей, более того — оно явилось затравочным в становлении самой теории и на его основе определяется специфика соответствующих явлений в целом. Как же характеризуется и оценивается независимость в основополагающих трудах и руководствах по теории вероятностей? Современное математическое построение теории вероятностей дается в аксиоматической форме, что во многом и решающем связывается с именем А.Н.Колмогорова. В своем основополагающем труде (1933 г.) А.Н.Колмогоров подверг специальному анализу понятие независимости. “Понятие независимости двух или нескольких опытов, — писал он, — занимает в известном смысле центральное место в теории вероятностей”⁹ И далее: “Исторически независимость испытаний и случайных величин явилась тем математическим понятием, которое придало теории вероятностей своеобразный отпечаток... Если в новейших исследованиях... часто отказываются от предположения полной независимости, то оказываются принужденными для получения достаточно содержательных результатов ввести аналогичные ослабленные предположения... Мы приходим, следовательно, к тому, чтобы в понятии независимости видеть по крайней мере первый зародыш своеобразной проблематики теории вероятностей...”¹⁰. И наконец: “...Одной из важнейших задач философии естественных наук, после разъяснения пресловутого вопроса о сущности самого понятия вероятности, является выяснение и уточнение тех предпосылок, при которых можно какие-либо данные действительные явления рассматривать как независимые...”¹¹ Как мы видим, А.Н.Колмогоров придавал представлениям о независимости не только основополагающее значение в построении теории вероятностей, но и в анализе проблематики философии естествознания. Необходимо также добавить, что понятию независимости придается центральное значение и в основных руководствах по теории вероятностей при рассмотрении ее исходных задач и специфики¹².

Представления о независимости прямо соотносятся с исходной моделью статистических представлений в классической

физике — моделью идеального газа. Именно переход к изучению газов как своеобразных физических систем и породил классическую статистическую физику. При характеристике газа как системы предполагается, что состояния каждой из его молекул взаимно независимы. Соответственно этому и говорят, что в статистической механике изучают системы невзаимодействующих, несвязанных, “свободных” частиц, между которыми отсутствуют постоянно действующие связи. Добавим еще, что в основных руководствах по статистической физике ее предмет преимущественно определяется как изучение систем, обладающих колоссальным числом степеней свободы¹³. Последнее и означает, что мы имеем дело с системами независимых сущностей и особенностями их познания. За это же говорит и то, что в руководствах по статистической физике всегда уделяется громадное внимание идеям атомизма, а атомизм в своей основе предполагает не только наличие громадного числа составляющих его элементов, но и наличие “самостоятельности” в их поведении.

Представления о независимости, как они здесь рассмотрены, характеризуют структуру статистических систем, так сказать, на уровне попарного отношения отдельных элементов друг к другу. Если же охватить структуру таких систем некоторым целостным образом, то она наиболее емко характеризуется словом “хаос”. Прообразом таких систем, повторим, являются газы. Именно особенности внутреннего строения газов порождают наши исходные представления о хаосе и условиях его образования. Можно отметить, что само слово “газ” происходит от того же уровня, что и “хаос”. Понятие хаоса характеризует прежде всего структуру таких систем, где элементы внутренне динамичны, но их поведение ни в малейшей степени не согласуется друг с другом и отсутствуют обратные связи. Подобные системы могут образовываться лишь под действием внешних сил или условий.

В последнее время к понятию хаоса привлечено громадное внимание и его непременно рассматривают в сопряжении с понятием порядка. Хаос олицетворяется моделью идеального газа в состоянии термодинамического равновесия. Представление о порядке символизируются моделью идеального твердого тела типа идеального кристалла или же моделью систем, обеспечивающих строгую однозначность разворачивания исследуемых событий во времени. Представления о хаосе и порядке

ныне интенсивно разрабатываются в ходе анализа процессов самоорганизации. В этих исследованиях вскрывается роль и значение хаоса, а следовательно — и независимости, в структуре и эволюции мира. Представления о хаосе и независимости существенны, когда речь идет об изменениях, эволюции, преобразованиях материальных структур и систем. Хаос расшатывает сложившиеся структуры, дает им возможность вступать в новые и весьма разнообразные взаимодействия и тем самым подготавливает почву для образования новых структур. Эволюционный подход к раскрытию содержания представлений о хаосе говорит о его конструктивной роли. Еще древние рассматривали хаос как одну из первопотенций мира. Хаос и независимость составляют необходимую составляющую эволюционных процессов в мире, и в этом основное их назначение.

Представлениям о независимости в философской литературе уделяется крайне незначительное внимание. Вместе с тем в конкретных исследованиях независимость проявляет себя все настойчивее и определеннее. Особо интересна ситуация в генетике. В анализе структуры процессов наследования, как они выражены в исходных законах Менделя, важнейшую и определяющую роль играют представления о независимости во взаимодействиях между генами в процессах размножения живых организмов (каждое скрещивание является отдельным, независимым событием, на которое не влияют результаты предыдущих скрещиваний; каждая пара генов наследуется независимо от другой пары; члены одной пары генов отделяются друг от друга в мейозе независимо от членов других пар; гены наследуются как независимые самостоятельные единицы и т.д.).

Следует отметить, что представления о независимости играют громадную роль в познании живых и вообще высокоорганизованных систем. Рассматривая проблемы биокибернетики в связи с фундаментальными работами И.И.Шмальгаузена в этой области, Р.Л.Берг и А.А.Ляпунов отметили: “Независимость — это такое же фундаментальное явление природы, как наличие взаимозависимости”¹⁴.

4. Свобода воли

Выше проблема независимости рассматривалась в свете того, как она встает в естествознании, прежде всего — в физи-

ко-математическом. Такой подход имеет свое оправдание в характере структуры познания. Знания не есть простая совокупность или же конгломерат отдельных теорий и наук. Они носят упорядоченный характер, что включает в себя сильную иерархическую компоненту. Наиболее глубинные структуры нашего мироздания и его эволюции, повторим, исследуются в физике, в физико-математическом естествознании. Они же вооружены наиболее развитыми методами исследований (математика плюс исследовательские приборы). Соответственно этому следует предположить, что именно в физико-математическом естествознании вырабатываются базовые модели познания. Отсюда же можно заключить, что то понимание независимости, которое вырабатывается в базовых моделях, служит опорой и для анализа независимости в ее высших проявлениях.

Наиболее сложные представления о независимости, ее видах, формах и механизмах действия обнаруживаются при анализе общественных явлений и природы человека. Проблема независимости всегда встает при анализе особенностей строения и функционирования практически всех структур общества, начиная с отдельных фирм, предприятий и объединений и кончая государствами, нациями и регионами. Вопросы независимости здесь связаны с раскрытием внутренних источников, движущих сил и направленности развития этих структур.

В истории развития научной мысли представления о независимости особо остро давали о себе знать в ходе становления и развития учения о свободе воли человека. Как сказал Э.В.Ильенков, под этим выражением “всегда имелась в виду некоторая независимость от всего сплетения причинно-следственных зависимостей внешнего (по отношению к телу человека) мира, способность действовать вопреки давлению всей массы “внешних” обстоятельств”¹⁵ Ильенков отмечал, что это одна сторона проблемы, негативное определение, позитивно же “свобода воли определяется как способность строить свои действия сообразно цели (в противоположность “причине”), а та определялась как идеал...”¹⁶.

Исторически развитый человек самоценен, волен, существенно независим от внешних обстоятельств в принятии своих решений. Все исходящие извне импульсы становятся причинами человеческих действий лишь тогда, когда они превращаются в факты общественного или личного сознания. Проблема независимости встает практически при рассмотрении любых

аспектов деятельности человека, в частности в ходе анализа истоков и существа морали. И. Кант, например, представления об автономности, включающей в себя независимость, применял при обосновании своей концепции этики. “Автономия, — писал он, — есть основание достоинства человека и всякого разумного естества”¹⁷

Независимость мышления человека выступает как непрерывное условие творческой деятельности человека и, следовательно, его развития. Рассматриваемая широта приложений независимости и ее вхождение в базисные структуры познания позволяет говорить о ее категориальном характере.

5. Вопросы обоснования

Признание категориального характера независимости остро ставит вопрос ее обоснования. Как вообще возможна подобная независимость? Как возможна независимость в мире, где само происхождение и бытие каждого объекта и явления немыслимы вне их взаимодействий и связей с материальным окружением? Как возможно обоснование независимости в мире, где все пронизано связями и взаимодействиями, например гравитационными, которые практически не знают границ? И наконец, чему служит независимость и какова ее ценность? Это особые и сложные вопросы, которые в научной литературе все еще слабо анализируются. Но все же некоторые направления мысли можно усмотреть, особенно в связи с современными разработками идей самоорганизации и нелинейности.

Независимость есть признание наличия собственного начала у объектов и систем, признание их самоценности. Это начало выражается через внутренние параметры и свойства, благодаря чему системы и объекты способны противостоять внешнему давлению. Другими словами, соответствующие объекты и системы обладают внутренними степенями свободы, что и определяет специфику их функционирования и поведения. Следует отметить, что в истории познания и философии прослеживается настойчивая мысль о наличии внутренних импульсов, внутренних самостоятельных действий в поведении объектов и систем. Сюда же относятся представления о спонтанных отклонениях в движении атомов у древних атомистов. Лейбниц в “Монадологии” заявлял, что “естественные измене-

ния монад исходят из внутреннего начала, тогда как внешняя причина не может иметь влияния внутри монады”¹⁸ Анализируя проблему причинности, М.Бунге видит ее ограниченность в том, что она не включает в свою структуру действие внутренних сил и условий, без чего невозможно понять принципы устройства нашего мироздания¹⁹. Подобный подход находит свое отражение и в современных исследованиях по проблемам хаоса. Как отмечается в одной из специальных работ, “появление стохастичности (хаоса) является внутренним свойством системы и не связано с действием каких-либо априори случайных сил”²⁰. Добавим еще, что внутренним факторам всегда придавалось важнейшее значение при анализе явлений жизни и ее эволюции. Живые системы и есть такие системы, которые обладают внутренней активностью, той или иной способностью действовать в своих интересах. Развитие организмов можно представить как их последовательное освобождение из-под власти среды. Сущность процесса эволюции организмов И.И.Шмальгаузен определял как “последовательную замену внешних факторов развития внутренними”²¹.

Сказанное означает, что независимость проявляет себя, когда действие внутренних факторов и сил преобладает над внешними. Подобные ситуации особо проявляются в процессах разработки общего учения о самоорганизации, в анализе особенностей “нелинейного мира” Самоорганизация возможна, когда некоторые ее “центры” могут прервать связи отдельных объектов и систем с их окружением и включить их в орбиту своих взаимодействий и закономерностей. Подобное включение становится менее “силовым”, менее болезненным, когда такие элементы находятся в состояниях крайней неустойчивости.

Состояния неустойчивости характеризуются ослаблением имеющихся связей, в результате чего система своеобразно реагирует на малейшие возмущения. Движение неустойчиво, если малые отклонения вызывают большие действия. Структуры неустойчивы, если малые воздействия на них вызывают их качественную перестройку. В эволюционных процессах неустойчивость представляет собою точки бифуркации, когда перед соответствующими системами открываются различные возможности, разнообразные направления дальнейших изменений. Тем самым состояния неустойчивости порождают независимость, и в этих случаях независимые объекты легче попадают в “объятия” центров активности, центров самоорганизации

(действие управляющих параметров или параметров порядка). Вопросы неустойчивости ныне широко изучаются в рамках современного развития учения об основах самоорганизации. Можно сказать, что именно на этих путях раскрывается природа независимости и ее ценности в бытии и познании.

6. Отрицание независимости

Несмотря на столь основополагающую роль независимости, проявляется она всегда в сопряжении с зависимостью, с наличием разнообразных и постоянно действующих во времени (пусть относительно) связей в реальном мире. Совершенно независимые сущности, пожалуй, невозможно и познавать: они не ведут к образованию каких-либо устойчивых взаимосвязей с окружением, что исключает возможность их познания. Наиболее простые случаи познания независимости наблюдаются тогда, когда поведение независимых сущностей ограничено так или иначе заданными внешними условиями, как это мы имеем дело в простейших статистических теориях, прежде всего в учении о газах.

Представления об индивидуализированных независимых частицах (объектах) являются весьма бедными для отображения действительности. Разнообразие реального мира представлено неисчерпаемым множеством сложных систем (космические образования, жидкие и твердые тела, биологические и социальные системы), которые образуются благодаря наличию постоянно действующих взаимосвязей между составляющими их объектами. Системы есть определенное отрицание индивидуализированных состояний их составляющих. Изучение реальных взаимодействий и сил (гравитационных, электромагнитных, ядерных и др.) и направлено в своей основе на то, чтобы изучить, какой спектр структур могут образовывать исходные элементарные сущности.

Образование структур из некоторых элементов можно рассматривать как ограничение независимости последних. Одна независимость породить разнообразие мира и его высшие формы не в состоянии. Конструктивно независимость проявляет себя лишь в сочетании с зависимостью. Соответственно этому образование все более сложных систем (прежде всего — живых и социальных систем) возможно на основе все более

глубокого и “тонкого” синтеза независимости и зависимости. Соответственно этому к анализу независимости необходимо подходить с эволюционных позиций, с позиций возникновения и совершенствования структур. Отсюда следует, что выявлять и изучать независимость, а в политике — и проводить линию на независимость, наиболее трудно и интересно, когда речь идет о ее сочетании с зависимостью.

Сказанное позволяет заключить, что параметры объектов и систем как бы распадаются на независимые и зависимые. Независимость касается вполне определенной группы параметров исследуемых систем, но далеко не всех. Независимые параметры прежде всего ответственны за развитие систем, за поиски возможных путей такого развития. Критерием оптимального решения данных вопросов является повышение эффективности функционирования и поведения исследуемых систем.

Эволюционный подход к анализу независимости говорит о том, что сама независимость, сам хаос может проявлять себя по-разному на различных уровнях организации материи. Это различие выражается прежде всего в том, что в качестве независимых рассматриваются весьма различные объекты и системы — объекты и системы, находящиеся на различных уровнях организации. Соответственно этому становление новых структур, рождение новых форм независимости возможно не на путях разрушения “до основания” старых структур, а исходя из их перестройки и совершенствования. Особо наглядно последнее видно на примере развития техники и технологий: новые поколения автомобилей или компьютеров возможны лишь как совершенствование структурно-функциональной их организации. Независимость, хаотические состояния характерны для переходных процессов, для перехода одних структур в другие, но на базе последовательности и преемственности самого эволюционного процесса. Независимость как бы раскачивает старую структуру, делает ее способной к трансформациям и тем самым порождает материал для созидания новых структур.

7. Заключение. Проблема наследников

Вхождение вероятности в структуру познания вызвало его глубокую концептуальную перестройку. Преобразовалась система базисных представлений науки и тем самым изменилась

научная картина мира, парадигма науки и стиль научного мышления. Вероятность преобразовала научное мышление тем, что в его базисные структуры вошли случайность и независимость. Эти категории выражают наличие особого самостоятельного начала мира, его строения и эволюции. Принципы строения и эволюции материального мира уже в своих (физических) основах имеют и жесткое, и пластичное начала, и оба они необходимы для целостного анализа реальных процессов и систем. Жесткое начало характеризуется однозначными, неизменными связями, непреодолимо наступающим действием. Случайность и независимость олицетворяют гибкое начало мира и сопряжены с такими понятиями, как неоднозначность, неопределенность, спонтанность и хаотичность. Разработка вероятностных методов исследования дали в руки человека новые мощные интеллектуальные средства для познания мира и организации практических действий. Наличие всех этих громадных изменений позволяет говорить о величайшей революции в познавательной деятельности человека. Как сказал И.Хакинг: “Укрощение случая и эрозия (жесткого) детерминизма представляет одно из наиболее революционных изменений в истории человеческой мысли”²².

Преобразования в мышлении на началах вероятности исторически необычайно трудно воспринимались и осмысливались. Многочисленные и острые дискуссии по вопросам обоснования классической статистической физики, генетики, учения Дарвина, квантовой теории, кибернетики и теории информации во многом преследовали цель овладения случаем и независимостью. И в настоящее время, как это ни парадоксально, категории случайности и независимости еще далеко недостаточно осмыслены. Довольно широко бытует точка зрения, что случайность есть нечто второстепенное, побочное, несовместимое с внутренней сущностью исследуемого процесса. Такое понимание случайности имеет свое оправдание в том, что именно на уровне внешних, побочных, второстепенных характеристик исследуемых систем и процессов происходит наиболее быстрая и постоянная смена событий, а сами эти события во многом и существенном независимы, т.е. случайны. Однако если случайность проявляется прежде всего на уровне внешних и побочных событий, то это отнюдь не означает, что она относится только к этим внешним аспектам исследуемых систем. Более широкое понимание случайности исходит из

того, что случайность может и действительно проявляется на любом уровне материальной действительности. Новое понимание случайности, открывающее простор для широкого применения теоретико-вероятностных методов исследования, пробило себе дорогу столь трудным образом, что дало основание сказать В.В.Налимову: “Чтобы хоть как-то понять природу случайного, западной мысли понадобилось более двух тысяч лет”²³ Раскрытию же оснований независимости в научной литературе уделялось и уделяется еще меньшее внимание. С таких позиций, с позиций непризнания принципиального характера случайности и независимости, весьма трудно понять, почему же вероятностные методы лежат на магистральных путях развития науки, на путях проникновения в глубинные основы бытия. Независимость и случайность, с одной стороны, и жесткая детерминация, с другой, как они представлены в современной науке, олицетворяют собой предельные категориальные структуры мышления (стили мышления, картины мира). В наши дни поставлен вопрос о разработке нового категориального строя мышления, опирающегося на обобщение стилей мышления, основывающихся как на принципах жесткой детерминации, так и независимости (случайности). Именно это выражают интенсивные исследования по проблемам самоорганизации и нелинейности. Новая категориальная система мышления выступает как своеобразный синтез независимости и жесткости, их взаимопроникновение. Последнее отражено в одной из последних работ школы И.Пригожина — одного из пионеров нового мышления. “Мы должны, — пишут И.Пригожин и И.Стенгерс, — отыскать узкую тропинку, затерявшуюся где-то между двумя концепциями, каждая из которых приводит к отчуждению: концепцией мира, управляемого законами, не оставляющими места для новации и созидания, и концепцией, символизируемой Богом, играющим в кости, концепцией абсурдного, акаузального мира, в котором ничего нельзя понять”²⁴. И далее: “То, что возникает буквально на наших глазах, есть описание, промежуточное между двумя противоположными картинками — детерминистическим миром и произвольным миром чистых событий”²⁵. Разработка новой парадигмы не умаляет значения случайности и независимости в познании, скорее наоборот — в свете новых подходов более строго и интересно выявится роль этих категорий в структуре сложных систем, их поведении и эволюции.

- Рассел Б.* История западной философии. М., 1959. С. 257
- Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М., 1964. С. 18.
- См., например: *Krӧger L.* The Probabilistic Revolution in Physics – an Overview // *The Probabilistic Revolution. Vol. 2. Ideas in the Science /Ed. by L.Krӧger, G.Gigerenzer and M.S.Morgan.* 1987 P 373.
- Винер Н.* Кибернетика и общество. М. 1958. С. 27
- Там же. С. 26.
- Рассел Б.* История западной философии. М., 1959. С. 76.
- См., напр *Назимов В.В.* Спонтанность сознания. М., 1989.
- Гольбах П* Избр. антирелигиозн. произв. М. 1934. Т 1. С 34-35.
- Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. 2 изд. М., 1974. С 17
- Там же С. 18.
- Там же. С 19.
- См., напр.. *Лозв М.* Теория вероятностей М. 1962. С 235; *Ширяев А.Н.* Вероятность. М., 1989 С 39.
- См. напр *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М* Статистическая физика. М. 1976. С. 13.
- Берг Р.Л* *Ляпунов А.А.* Предисловие к книге: *Шмальгаузен И.И.* Кибернетические проблемы биологии. Новосибирск, 1968. С. 10.
- Ильенков Э В.* Свобода воли // *Вопр. философии.* 1990. № 2. С. 69.
- Там же.
- Кант И.* Соч. Т 4, ч. 1 М., 1965. С. 278
- Лейбниц.* Избр. философские сочинения М 1908. С. 301
- См *Бунге М.* Причинность. М., 1962.
- Заславский Г.М.* Стохастичность динамических систем. М., 1984. С. 6.
- Шмальгаузен И.И.* Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. М. 1982. С. 175.
- Hacking Ian.* Was there a Probabilistic Revolution 1800-1930? // *The Probabilistic Revolution. Vol. 1 Ideas in History* Ed. by *L.Krӧger, L.J.Daston,* and *M.Heidelberger* Cambridge, 1987 P 54.
- Назимов В.В.* Спонтанность сознания М. 1989 С 207
- Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант М., 1994 С 261
- Там же. С. 262.

Статистическая интерпретация квантовой теории: статистическая полнота и статистическая нелокальность*

Статистическая интерпретация квантовой механики, к сторонникам которой (в различных ее вариантах) принадлежали А.Эйнштейн, Л.И.Мандельштам, К.Поппер и некоторые другие видные физики и философы науки¹, не пользуется сейчас большой популярностью. В книге М.Рэдхеда по философии квантовой механики², названной в одной из рецензий “парадигмой новой философии физики”, эта интерпретация специально не выделяется и не рассматривается. Тем не менее, как следует, например, из книги М.Джеммера, статистическая интерпретация внутренне непротиворечива и ее эволюция не пришла к какому-либо логическому завершению. Так, например, статистическую интерпретацию развивал в 1970 г. в ряде статей Л.Е.Баллентайн³, который опубликовал в 1990 г. учебник по квантовой теории, написанный с позиций этой интерпретации⁴.

В настоящей статье разработка идеи статистической интерпретации квантовой механики идет в несколько ином, чем у Л.Е.Баллентайна, направлении. Следуя ранним советским исследованиям этой интерпретации (Л.И.Мандельштам, К.В.Никольский, Д.И.Блохинцев⁵), мы развиваем ту версию статистической интерпретации, которая утверждает полноту квантовой теории. В этой связи мы сосредоточиваем внима-

Статья представляет собой результаты исследования, поддерживаемого РГНФ, проект № 95-06-17294а.

В беседе с автором настоящей статьи проф. Майкл Рэдхед сказал, что статистическая интерпретация скорее принадлежит истории, чем современности.

ние на понятиях статистической полноты и статистической нелокальности, уже выдвигавшихся в литературе, но без акцента на разработку специфической версии статистической интерпретации квантовой механики. Прежде всего, однако, остановимся на классификации интерпретаций квантовой механики. Таким образом мы определим предметную область нашего исследования.

1. Классификация интерпретаций квантовой механики

Чтобы очертить смысл термина “статистическая интерпретация квантовой механики”, проведем в первую очередь различие между “минимальной инструменталистской интерпретацией” этой теории (терминология М.Рэдхеда) и интерпретацией “ради понимания”⁶. Минимальная инструменталистская интерпретация связывает математический аппарат квантовой механики с результатами измерения, в ней устанавливается, как этот аппарат соотносится с возможными результатами измерения и статистическими частотами, с которыми эти результаты возникают, когда измерение повторено много раз (в принципе бесконечное число раз) над системами (например, электронами), подготовленными в идентичных квантово-механических состояниях. Минимальная инструменталистская интерпретация квантовой механики состоит из правил вычисления средних значений (математических ожиданий) измеряемой физической величины (наблюдаемой) и вероятностей появления в качестве результата измерения того или иного значения этой величины.

Минимальная инструменталистская интерпретация квантовой механики может быть названа интерпретацией “для пользователей” Ее достаточно, чтобы применять эту теорию, во всяком случае, чтобы решать стандартные квантово-теоретические задачи. Эта интерпретация, однако, не отвечает на вопрос о том, что реально происходит при квантово-механических процессах, она не идет дальше трактовки квантовой механики как инструмента предсказания и описания “брутофактов”, т.е. того, что дано нам в наших восприятиях. Но квантовая механика еще и обеспечивает понимание природы. Она обеспечивает это, если математический аппарат теории дополняет та или иная интерпретация ради понимания.

Здесь не случайно употреблено выражение “та или иная интерпретация” Если “минимальная инструменталистская интерпретация” квантовой механики не вызывает существенных разногласий (по крайней мере среди тех, кто принимает стандартный математический аппарат этой теории), то интерпретация ради понимания — поле идейных и даже идеологических баталий, начавшихся уже в 1927 г., когда А.Эйнштейн выступил на пятом Сольвеевском конгрессе с критикой позиции Н.Бора⁷

Интерпретации ради понимания подразделяются на две большие группы. Первая группа исходит из того, что волновая функция (вектор, или точнее, луч в гильбертовом пространстве) представляет состояние единичной физической системы, скажем, электрона. Копенгагенская интерпретация квантовой механики, которую исповедовало большинство физиков, создавших эту теорию, и которая изложена в большинстве учебников и потому названа “ортодоксальной” и “стандартной” принадлежит к этой группе интерпретаций. Согласно копенгагенской интерпретации волновая функция дает в максимально возможной степени полное описание состояния единичной физической системы. Отсюда следует, что в том случае, когда система не находится в собственном состоянии какой-либо квантово-механической наблюдаемой (координаты, импульса, энергии и т.д.), то она не только не имеет какого-либо четкого значения этой наблюдаемой, но даже не может быть осмысленно ею охарактеризована. Ведь в противном случае встал бы вопрос о том, как пополнить квантово-механическое описание с тем, чтобы определить “истинное” значение квантово-механической наблюдаемой. Физическая система может быть осмысленно охарактеризована некоторой наблюдаемой только в том случае, если она находится в собственном состоянии этой наблюдаемой, т.е. если соответствующий прибор “наблюдает” эту систему, измеряет значение этой наблюдаемой. При этом копенгагенская интерпретация исходит из взаимно исключающих друг друга (дополнительных) рядов наблюдаемых и соответственно измерений и измерительных устройств.

Допустимы, однако, и другие интерпретации квантовой механики, строящиеся на допущении о том, что волновая функция представляет единичную физическую систему. Это

интерпретации со “скрытыми параметрами”, исходящие из того, что описание физической системы посредством волновой функции может быть дополнено и уточнено. При этих интерпретациях предполагается, что физическая система, даже если она не находится в собственном состоянии какой-либо квантово-механической наблюдаемой, обладает вполне определенным значением этой наблюдаемой, только это значение в принципе неизвестно (невыводимо в рамках “минимальной инструменталистской интерпретации” квантовой механики). Это значит, что физическая система имеет четкие значения пары некомутирующих наблюдаемых (дополнительных — с точки зрения копенгагенской интерпретации), но эти значения, вообще говоря неизвестны. “Скрытые параметры” призваны таким образом пополнить представление состояния физической системы посредством волновой функции, чтобы пара (ψ, λ) , где ψ — волновая функция, λ — скрытый параметр, полностью определяла каждый результат измерения. Кроме того, усреднение (ψ, λ) по значениям λ должно давать обычное квантовое состояние ψ^8 .

Продолжим наш экскурс в классификацию интерпретаций квантовой механики. Вторую группу интерпретации ради понимания составляют статистические интерпретации. Согласно этим интерпретациям волновая функция представляет не состояние отдельной системы, а ансамбля (множества — причем в принципе бесконечного) систем, точнее, множества одинаково приготовленных систем.

Здесь уместно небольшое терминологическое замечание. Уже “минимальная инструменталистская интерпретация” носит статистический характер: ведь она соотносит математический аппарат квантовой механики не с отдельным экспериментом, а с множеством экспериментов, со статистикой экспериментальных результатов. В отличие от минимальной инструменталистской интерпретации статистическая интерпретация ради понимания ссылается не на ансамбль опытов, а на ансамбль физических систем (скажем, электронов)⁹. Желая подчеркнуть это отличие, А.Эйнштейн и В.А.Фок называли последнюю “чисто статистической” интерпретацией. Укоренилось также название “ансамблевая интерпретация”

Статистические интерпретации квантовой механики также неоднородны. Среди них выделяются те, которые исходят из

полноты статистического описания, даваемого квантовой механикой, т.е. из фундаментальности квантово-механического типа статистики. Другие же на представлении о возможности “уточнить” то статистическое описание, которое дается волновой функцией, приблизив его к описанию, даваемому классической статистической механикой. Иными словами, они исходят из возможности преодолеть соотношение неопределенностей и превратить квантовую механику в аппроксимацию более точной физики микромира.

Исторически первой стала статистическая интерпретация, предполагающая неполноту описания посредством волновой функции. Таковой была интерпретация, высказанная в 1927 г. А.Эйнштейном¹⁰ и развитая им в связи с его аргументом о неполноте квантовой теории, выдвинутым в известной статье Эйнштейна, Подольского и Розена (далее ЭПР). Согласно А.Эйнштейну, “квантовая теория ничего не говорит об отдельных процессах. Она дает информацию лишь относительно бесконечного множества элементарных процессов”¹¹ При этом в статье ЭПР говорится, что “описание реальности посредством волновой функции является неполным”¹². Точнее, ЭПР формулируют следующую альтернативу: либо 1) квантово-механическое описание реальности посредством волновой функции не является полным, либо 2) если операторы, соответствующие двум физическим величинам не коммутируют, эти две величины не могут одновременно обладать реальностью. Суть ЭПР аргумента состоит в демонстрации того, что последнее неверно, т.е. того, что две физические величины, соответствующие некоммутирующим операторам, все же обладают одновременно реальностью. Если учесть определение реальности, даваемое ЭПР (оно звучит следующим образом: “если мы можем без какого-либо возмущения системы предсказать с достоверностью значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине”)¹³, то нельзя не заметить, что сформулированное положение корректирует или во всяком случае ограничивает соотношение неопределенностей. Итак, остается первый член альтернативы, ведущий к вопросу о возможности более полного описания физической реальности, нежели то, которое обеспечивает квантовая теория.

Впрочем, как показал А.Файн, статистическая интерпретация квантовой механики, развиваемая А.Эйнштейном, допускает иное прочтение¹⁴ Ссылаясь на высказывания Эйнштейна, выражающие его неудовлетворенность формулировками статьи ЭПР, которую писал в основном Б.Подольский, А.Файн полагает, что эйнштейновское утверждение о неполноте квантовой теории касается лишь неполноты описания ею индивидуальных систем и что, хотя Эйнштейн и ставил знак вопроса рядом с гейзенберговскими соотношениями неопределенностей, он никогда не проявлял интереса к программе “скрытых переменных”¹⁵

Развивая эйнштейновские идеи, Л.Е.Баллентайн, который был упомянут выше в связи с его работами 70-х гг. по статистической интерпретации квантовой механики, высказывается более определенно в отношении “скрытых параметров” “Статистическая интерпретация, — пишет он, — которая рассматривает квантовые состояния как описывающие ансамбли приготовленных систем, всецело открыта в отношении скрытых переменных. Она не требует их, но делает их поиск полностью осмысленным”¹⁶ Впрочем, в своем учебнике квантовой механики, который также упоминался выше, Л.Е.Баллентайн высказывает скепсис в отношении самой проблемы полноты теории: “В действительности вопрос о полноте теории имеет лишь второстепенную значимость... Мы пришли в настоящее время к иерархии теоретических моделей, каждая из которых дает более детальное описание реальности, чем прежняя”¹⁷

Примерами статистической интерпретации квантовой механики, предполагающей полноту этой теории, могут служить интерпретации, выдвинутые советскими физиками Л.И.Мандельштамом и Д.И.Блохинцевым. Эти интерпретации складывались в оппозиции, с одной стороны, к копенгагенской интерпретации (поэтому они и статистические) и, с другой стороны, эйнштейновской критике этой интерпретации, в первую очередь той критике, которая сконцентрирована в ЭПР аргументе. Согласно Л.И.Мандельштаму, волновая функция квантовой механики относится к “микромеханическому коллективу”, задаваемому фиксацией макроскопических параметров. Вместе с тем Л.И.Мандельштам не согласен с Эйнштейном, считавшим (в интерпретации Л.И.Мандельштама), что “теория с функцией не полна и ее можно дополнить так, что-

бы не было принципа неопределенности”¹⁸ Следуя фон Нейману, Л.И.Мандельштам утверждает, что “нельзя отказаться от принципа неопределенности, не отказываясь от основ квантовой механики”¹⁹.

Несколько в иных терминах (и с иными приемами риторики) формулирует свою версию статистической интерпретации квантовой механики Д.И.Блохинцев. Но и Д.И.Блохинцев не принимает ЭПР аргумент, направленный против полноты квантовой теории (он солидаризуется здесь с Л.И.Мандельштамом). В одной из последних своих работ Д.И.Блохинцев ввел соотношение неопределенностей в определение квантового ансамбля. “Пусть дана, — пишет он, — бесконечная последовательность тождественных микросистем, находящихся в одной и той же макроскопической обстановке M (например, ускоритель в заданном режиме, магнит-анализатор, щель, коллимирующая пучок). Если в этой совокупности систем

$$\overline{\Delta p^2} \overline{\Delta x^2} \approx \frac{\hbar^2}{4}$$

то такой ансамбль мы будем называть квантовым ансамблем”²⁰

Демаркация двух типов статистической интерпретации квантовой механики, проведенная в настоящем параграфе, оставляет, однако, чувство неудовлетворенности. Ведь выше не было определено понятие полноты теории, служащее критерием демаркации. Мы исходили лишь из оценок, даваемых теми или иными физиками, развивающими статистическую интерпретацию квантовой механики. Не исключено, что на деле эти физики имели в виду различные понятия полноты теории.

2. Уточнение демаркации двух типов статистической интерпретации на базе понятия статистической полноты теории

Чтобы уточнить произведенную классификацию статистических интерпретаций квантовой механики, обратимся к статье А.Элби, Х.Брауна и С.Фостер²¹, посвященной различным пониманиям полноты теории. В этой статье проведено различие между ЭПР полнотой теории и ее статистической полнотой. Первая исторически и терминологически связана с упоминавшейся выше статьей А.Эйнштейна, Б.Подольского и Н.Розена

(ЭПР), содержащей аргумент, призванный продемонстрировать неполноту квантовой механики. Определение ЭПР полноты получают, превращая то необходимое условие полноты, которое сформулировали А.Эйнштейн с соавторами, в необходимое и достаточное (поскольку ЭПР демонстрировали неполноту квантовой теории, они нуждались лишь в необходимом условии полноты теории). В статье ЭПР говорится, что теория является полной, если “каждый элемент физической реальности обладает представителем в физической теории”²². ЭПР полнота, стало быть, означает представленность в теории каждого элемента соответствующей области физической реальности. Что же такое элемент физической реальности? ЭПР предлагают следующий критерий, принятый в статье Элби, Брауна и Фостера (этот критерий уже был воспроизведен в § 1: “если мы без всякого возмущения системы можем предсказать с достоверностью (с вероятностью, равной 1) значение физической величины, то существует элемент физической реальности, отвечающий данной величине”

Как известно, ЭПР, исходя из принятых критериев полноты и физической реальности, пришли к выводу о неполноте квантовой механики. Они продемонстрировали мысленный эксперимент с двумя частицами, которые вначале взаимодействовали друг с другом, а затем разошлись на такое расстояние, что перекрытием их пространственных волновых функций можно пренебречь. Законы сохранения и аппарат квантовой механики позволяют с определенностью (с вероятностью, равной 1) предсказать значения координаты и импульса первой частицы, если эти величины измерены для второй частицы. Поскольку при этом никакого возмущения первой частицы не происходит, то ее координату и импульс можно считать элементами физической реальности, причем элементами, не находящими отражения в аппарате квантовой механики с его соотношениями неопределенностей.

Хорошо известна также реакция Н.Бора на ЭПР аргумент. Отстаивая полноту квантовой механики, предполагаемую копенгагенской интерпретацией этой теории (в нашей терминологии ЭПР полноту), Н.Бор отверг тот критерий физической реальности, который был выдвинут ЭПР. Для Н.Бора физической реальностью обладает лишь “квантовое явление”, соединяющее в себе квантовый объект и измерительный прибор.

Поэтому координата и импульс первой системы не обладают сами по себе реальностью: они возникают у этой системы только тогда, когда производится измерение этих характеристик у второй системы. Поскольку мы не можем одновременно измерять у второй системы координату и импульс, мы не можем считать эти характеристики атрибутами первой системы.

Под статистической полнотой квантовой теории, как и под ЭПР полнотой, понимают свойство теории с достаточной детализацией представлять физическую реальность. Только это реальность статистического характера. Пусть ψ обозначает состояние физической системы, определяемое теорией T , и пусть T содержит статистический алгоритм, соотносящий состояние ψ со средним значением физической величины (наблюдаемой) Q , т.е. с $\langle Q \rangle_T$. Рассмотрим теперь весьма большой ансамбль систем E , все начальные состояния которых одинаковые (ансамбль идентично приготовленных систем). Пусть $\langle Q \rangle$ обозначает среднее значение, а $\langle Q \rangle_T$ — среднее значение для того же ансамбля, но предсказываемое теорией T . Теория T называется статистически полной, если и только если для каждого мыслимого ансамбля E одинаково приготовленных систем (состояния которых описаны теорией T) $\langle Q \rangle$ совпадает с $\langle Q \rangle_T$.

Хотя термин “статистическая полнота” был введен совсем недавно (в упомянутой статье Элби, Брауна и Фостер), по сути дела эту форму полноты имел в виду И.фон Нейман, формулируя и доказывая свою известную теорему о невозможности скрытых параметров в квантовой механике.

Воспроизведем рассуждения И.фон Неймана. Проблема полноты поставлена им в виде проблемы демаркации двух интерпретаций статистического ансамбля: $[S_1, \dots, S_n]$:

I. Отдельные системы S_1, \dots, S_n могут находиться в различных состояниях, так что ансамбль $[S_1, \dots, S_n]$ определяется их относительными частотами. То, что мы не получаем здесь точно определенных значений физических величин, обусловлено нашим незнанием: ведь мы не знаем, в каком состоянии мы измеряем, а потому и не можем сказать, что при этом получится.

II. Все отдельные системы S_1, \dots, S_n находятся в одном и том же состоянии, но законы природы не каузальны. Тогда причиной дисперсии будет уже не наше незнание, а сама при-

рода, которая не считается “принципом достаточного основания»²³

И.фон Нейман доказывает, что только вторая интерпретация возможна в области приложения квантовой механики, а именно он доказывает то, что предположение о том, что всякий ансамбль, в котором имеется величина Q с дисперсией, может быть представлен в виде смеси двух (или большего числа) подансамблей, в которых все квантово-механические наблюдаемые не имели бы дисперсии, ведет к противоречию. Иными словами, чистые ансамбли квантовой механики являются гомогенными.

Как соотносится статистическая полнота квантовой теории с ее ЭПР полнотой? Статистическая полнота является более сильным свойством теории и влечет за собой ЭПР полноту. Правда, условием этой импликации служит принципиальная наблюдаемость элементов реальности, предполагаемых при той трактовке полноты, которую давали ЭПР: каждый элемент реальности должен непосредственно участвовать в определении измеряемых результатов.

Ясно, что при указанном ограничении статистическая полнота теории и подавно нарушается, если нарушается ее ЭПР полнота. Но можно указать теории, полные в смысле ЭПР полноты и неполные в смысле статистической полноты. Таковой является квантовая механика, оснащенная “скрытыми параметрами” в смысле Д.Бома. Не вникая в аппарат этой теории, отметим лишь, что она может рассматриваться как попытка подвести физический базис под “квантовое явление” Н.Бора (см. выше в настоящем параграфе). Согласно Д.Бому, волновая функция квантовой механики имеет непосредственный физический смысл. Это особое ψ -поле, подчиняющееся уравнению Шредингера. Особость его состоит в начальных условиях, добавляемых к уравнению движения. Импульс частицы удовлетворяет условию $p = \nabla S(x)$, где $S(x)$ — фаза волновой функции, а координаты частиц образуют статистический ансамбль с плотностью $|\psi(x)|^2$. Координата и импульс в принципе присущи частице самой по себе, однако они связаны с ψ -полем. При измерении координаты второй частицы “волновая функция всей системы (состоящей из двух удаленных друг от друга частиц. — А.Л.) претерпевает неконтролируемые искажения, влекущие за собой (благодаря квантово-механическим си-

лам) соответствующие неконтролируемые изменения импульсов обеих частиц. Точно так же “квантово-механические” силы, возникающие при неконтролируемом искажении ψ -поля, обуславливают неконтролируемые изменения координат обеих частиц при измерении импульса одной из них”²⁴.

В то же время квантовая механика, оснащенная бомовскими “скрытыми параметрами”, оказывается неполной в статистическом смысле. Поскольку каждая физическая система характеризуется, по Бому, “скрытыми” координатой и импульсом, то две физические системы, представленные одним и тем же квантово-механическим состоянием, в принципе различимы, и мы можем дробить даже чистый ансамбль, пробиваясь к бездисперсным подансамблям.

Различив ЭПР полноту теории и ее статистическую полноту, мы можем уточнить проведенную в предыдущем параграфе демаркацию между двумя типами статистической интерпретации квантовой механики. Так как эти интерпретации придают физический смысл лишь ансамблям физических систем (скажем, электронов), а не одной системе, то они могут различаться лишь в плане трактовки статистической полноты теории. Одни из них предполагают статистическую неполноту квантовой механики, другие, наоборот, ее статистическую полноту. Это, разумеется, значит, что в рамках этих двух типов интерпретации по-разному трактуется и фон-неймановское доказательство полноты квантовой механики (невозможности в ней “скрытых параметров”). Ведь фон Нейман доказывал статистическую полноту квантовой механики, и безусловное принятие его доказательства характерно для статистических интерпретаций второго типа, а отторжение — для таких интерпретаций первого типа.

В качестве примера статистических интерпретаций, предполагающих полноту квантовой механики, в § 1 упоминалась интерпретация, изложенная в “Лекциях” Л.И.Мандельштама. Л.И.Мандельштам в ней непосредственно следует И.фон Нейману. “Нейман исследовал, — говорит Л.И.Мандельштам, — возможно ли “суммарное, общее” описание при помощи ψ -функции так уточнить и дополнить “скрытыми” параметрами, чтобы не было соотношения неопределенности. Нейман доказал, что нельзя дополнить волно-

вую механику таким образом, чтобы изжить принцип неопределенности”²⁵.

Разбирая ЭПР аргумент, Л.И.Мандельштам по сути дела формулирует его статистический аналог²⁶. “Пока я ничего не измеряю, — пишет Л.И.Мандельштам, — я имею $\psi(y, z)$, где представлены все z и все p (речь идет о двухчастичной волновой функции, представляющей состояние, в котором смешаны частицы с самыми различными координатами и импульсами. — А.П.). Произведя измерения, я могу из всей совокупности измерений выделить подсовокупность, в которой измерение некоторой определенной величины, характеризующей систему II, привело к некоторому определенному результату и в которой система I описывается волновой функцией. В этой подсовокупности, если импульс точно измерен, то координата — любая, и наоборот. Суть дела в том, что, выполняя измерения различных величин, относящихся к системе II, мы выделяем различные подсовокупности: мы либо фиксируем $\phi_1(y)$, т.е. импульс системы II, либо фиксируем $\theta_1(y)$, т.е. координату системы II. В каждой из подсовокупностей для системы I имеет силу принцип неопределенности”²⁷

При этом Л.И.Мандельштам оставляет открытым вопрос об ЭПР полноте квантовой механики. Это можно усмотреть из фразы, сразу следующей за процитированным отрывком: “Но одновременные точные значения импульса и координаты в разных подсовокупностях вполне допустимы, и никакого противоречия с волновой механикой здесь нет”²⁸.

“Лекции по основам квантовой механики” были прочитаны Л.И.Мандельштамом в 1939 г. Естественно, на статистической интерпретации квантовой механики не могла не отразиться та полемика вокруг теоремы фон Неймана о полноте квантовой теории, которая развернулась уже в 40-е, 50-е и последующие годы. Отсюда не следует, что в этот период все физики отказались от этой теоремы как от аргумента против “скрытых параметров” в квантовой механике. Все же нельзя не учитывать, что Д.Бом, выступивший в 50—60-е гг. со своей теорией со “скрытыми параметрами”, отдавая должное математической

Иной аналог уже бомовской версии ЭПР аргумента (с двумя частицами в синглетном состоянии) был уже в “послебелловский период”, т.е. после открытия Дж.Беллом его неравенства, сформулирован Ф.Селлери и Г.Тароци.

части теоремы фон Неймана, видел ее ограниченность в том, что “подансамбли должны классифицироваться в терминах значений квантово-механических наблюдаемых”²⁹. Нельзя не учитывать также, что движение “скрытых параметров” в квантовой механике стало прогрессировать и что Ф.Дж.Белинфанте, написавший обширный обзор теорий со “скрытыми параметрами”, издательски назвал “скрытые параметры” в смысле фон Неймана и его ближайших последователей параметрами “нулевого уровня”³⁰.

Как упоминалось в § 1, версию статистической интерпретации квантовой механики, открывающую дверь перед “скрытыми параметрами”, развивал Л.Баллентайн. Примечательно, что Л.Баллентайн писал в отношении теоремы фон Неймана: “Его заключение, что нет модели скрытых параметров, совместимой со статистическими предсказаниями квантовой теории, ложно, ибо такая модель существует”³¹. Л.Баллентайн здесь ссылается на упоминавшуюся модель Д.Бома.

Вопрос о статистической полноте квантовой теории, понимаемый при ее статистической интерпретации, сопряжен в конечном итоге с оценкой фундаментальности квантовой механики. Если Л.И.Мандельштам при всем его преклонении перед ясностью и строгостью классической физики отдавал должное “новому физическому мировоззрению”, влекомому квантовой механикой³², то Л.Е.Баллентайн допускает резкое изменение в структуре квантовой теории: “Вероятно, следующим этапом будет крутой отход от знакомого формализма, подобный отходу эйнштейновской теории гравитации от формализма Ньютона”³³.

3. Статистическая полнота и нелокальность

Как показала разработка ЭПР аргумента, этот аргумент неявно содержал условие локальности: удаленное измерение (измерение, выполненное над системой II) не может сделать неопределенное значение наблюдаемой (у системы I) определенным и точным. Условие локальности включалось ЭПР в их критерий физической реальности: как было выяснено, на деле этот критерий состоит из двух критериев: 1) собственно реаль-

ности, утверждающего, что реальной будет та наблюдаемая, значение которой может быть предсказано с определенностью (с вероятностью, равной 1), 2) локальности, утверждающего, что “реальная” наблюдаемая, характеризующая систему, не может измениться в результате удаленного измерения. Если бы ЭПР ограничили лишь условием “собственно реальности”, их аргумент не прошел бы. Чтобы прийти к заключению об одновременной реальности двух некоммутирующих наблюдаемых, надо “спроецировать” их реальность, вытекающую из однозначного предсказания, на прошлое, на то время, когда системы I и II еще описывались единой волновой функцией.

Опровергая ЭПР аргумент (см. предыдущий параграф), Н. Бор допустил нарушение локальности, а именно — он допустил, что удаленное измерение (выполненное над системой II) делает осмысленной и точной наблюдаемую, характеризующую физическую систему I. Иными словами, в отличие от ЭПР Н. Бор допускал, что координата и импульс системы I становятся реальными лишь на момент предсказания. Поскольку же эти величины у системы II не могут быть одновременно измерены, они не могут быть одновременно реальными и у системы I.

Условие нелокальности, выдвинутое Бором, содержалось в его идеологии “квантового явления” понимаемого как единство физической системы и измерительного прибора и означающего включение действий исследователя в физический процесс. Собственно Бор не постулировал своего условия нелокальности в явном виде. Это условие было выделено из его идеологии “квантового явления” последующей критикой Аутентичное освещение этой идеологии дал И.С.Алексеев, пытавшийся связать ее с марксистской концепцией деятельности³⁴

Н. Бор дебатировал понятие ЭПР полноты теории. В настоящей статье обсуждаются статистические интерпретации квантовой механики, придающие актуальность другому понятию полноты теории — статистической полноте. Влечет ли статистическая полнота, как и ЭПР полнота, нелокальность? В том доказательстве статистической полноты, которое провел Н. фон Нейман, нарушение локальности явно не постулировалось. Однако имеет смысл приглядеться к его рассуждениям внимательнее. Выше (см. предыдущий параграф) была

воспроизведена фон-неймановская постановка проблемы полноты квантовой теории: эта постановка исходила из различия двух трактовок статистического ансамбля. Каким образом фон Нейман доказывает, что в квантовой механике справедлива вторая трактовка, т.е. то, что квантовая механика статистически полна? Фон Нейман начинает с концепции возмущения при измерении, типичной для копенгагенской интерпретации. Допустим, пишет он, что физическая величина R измеряется у всех систем ансамбля $[S_1, \dots, S_n]$ и принимает на них лишь два значения a_1 и a_2 , скажем a_1 на системах S'_1, \dots, S_1 и a_2 на системах S''_1, \dots, S''_{n-1} (верхние индексы символизируют изменения систем ввиду возмущающего действия измерения). Мы таким образом получаем два ансамбля $[S_1, \dots, S_n]$ и $[S'_1, \dots, S''_{n-1}]$, в которых величина R не имеет дисперсии. Но возьмем какую-либо другую физическую величину S , также принимающую лишь два значения b_1 и b_2 в подансамблях $[S'_1, \dots, S_{n1}]$ и $[S''_1, \dots, S''_{n-1}]$. Пусть для систем S'''_1, \dots, S'''_{n1} и S^v_1, \dots, S^v_{n12} найдено значение b_1 , а для систем $S^{xv}_1, \dots, S^{xv}_{n1-n11}$ и $S^{xv}_1, \dots, S^{xv}_{n1-n11-n12}$ найдено значение b_2 (изменение верхних индексов символизирует изменение систем ввиду возмущения при измерении). Тогда можно было бы предположить, что мы пришли к подансамблям, в которых ни величина R , ни величина S не имеют дисперсии. Это, однако, не так, поскольку подансамбли $[S'''_1, \dots, S'''_{n1}]$, $[S^v_1, \dots, S^v_{n1-n11}]$ и т.д. не тождественны подансамблям $[S_1, \dots, S_{n1}]$, $[S'_1, \dots, S_{n1-n11}]$ и т.д., и в них величина R уже может иметь дисперсию.

Фон Нейман, однако, не удовлетворяется копенгагенским аргументом от возмущения при измерении. Он пишет, что все же можно было бы “поддержать фиктивное представление” о том, что статистический ансамбль можно и в квантовой механике разложить на подансамбли “без изменения его элементов”, так чтобы смешивание этих подансамблей дало бы исходный ансамбль. Если бы это было возможно, то в квантовой механике можно было бы пробиться к подансамблям, в которых любая физическая величина (наблюдаемая) не имеет дисперсии³⁵. Фон Нейман доказывает, что приведенное допущение входит в противоречие с принципами квантовой механики. “Фиктивное представление” позволяет ему вести дальнейшее рассуждение на языке математики, не прибегая к таким интуитивным допущениям, как нелокальность.

Однако не только фон Нейман отстаивал статистическую полноту квантовой теории. Как отмечалось выше, этот тип полноты защищал Л.И.Мандельштам, рассматривая ЭПР аргумент. Его доказательство, в отличие от фон-неймановского, интуитивно физическое. Интересно, что Л.И.Мандельштам начинает свое доказательство как раз в том пункте, в котором фон Нейман оставляет аргумент от возмущающего измерения и переходит к математическому доказательству. ЭПР мысленный эксперимент с двумя системами позволяет ему наполнить физическим смыслом то “фиктивное представление”, которое позволил себе поддержать фон Нейман, чтобы затем его математически опровергнуть. Действительно, измерение, выполняемое над системами S_{21}, \dots, S_{2n} , позволяет согласно предположению, отвечающему духу ЭПР, разбить ансамбль систем S_{11}, \dots, S_{1n} на подансамбли без изменения этих систем. В целях более аккуратной формулировки это предположение должно быть оснащено статистическими аналогами условий реальности и локальности. Л.И.Мандельштам по сути дела и использует такие аналоги. “Реальностью” в его пересказе ЭПР аргумента обладают ансамбли систем I, соответствующие чистым состояниям, выделяемым в результате измерения из смеси, в которой система I пребывает, находясь в паре с системой II. “Локальность” позволяет в духе ЭПР считать, что эти чистые ансамбли систем I латентно существовали и до измерения, когда системы I и II в совокупности описывались волновой функцией, а сами системы I и II находились в смешанных состояниях.

Разбирая ЭПР аргумент, точнее, его статистический аналог, Л.И.Мандельштам соглашается с условием реальности, но отвергает условие локальности. т.е. допускает нелокальность. Условие, предполагающее реальность чистых ансамблей, поскольку измерение приводит к случаю, при котором для системы I существует волновая функция, существенным образом входит в мандельштамовскую концепцию косвенных измерений³⁶ Л.И.Мандельштам по сути дела использует концепцию сложных селективных измерений³⁷ Однако эти чистые ансамбли существуют лишь на момент измерения. Их неправомерно экстраполировать на прошлое: набирая подансамбль системы II с некоторым фиксированным значением какой-либо физической величины, мы тем самым набираем и подансамбль

системы I, причем подансамбль, ранее не существовавший. Измерение, выполненное над системами II, как бы возмущает (в продолжении первой части аргументации фон Неймана, где имелось в виду не “как бы”, а реально) системы I.

“Физически неправильно, — подчеркивал Л.И.Мандельштам, — когда Эйнштейн говорит: “Мы измеряем систему II, не затрагивая систему I”. Спрашивается, откуда система II получала свой импульс? От столкновения с системой I. Значит, если мы берем только те случаи, когда система II обладает некоторым определенным импульсом, то мы берем лишь определенные удары со стороны системы I. Если же у системы II определена координата, то она получила от системы I другие удары, или удары, полученные ею от системы I, не являются определенными. Таким образом, здесь просто неправильно применена теория вероятностей, и никакого повода к пересмотру волновой механики возражение Эйнштейна не дает”³⁸.

Контраргументы Л.И.Мандельштама не следует, однако, противопоставлять математическому доказательству фон Неймана. Более того, первое может рассматриваться в качестве истолкования второго. И.фон Нейман, стало быть, был не далек от признания нелокальности. Как известно, в его доказательстве использован аппарат матрицы плотности, обеспечивающий строгую трактовку более общего типа состояний, нежели “чистые состояния”, представляемые волновыми функциями. Матрица плотности может представлять также “смешанные состояния”, когда неизвестно, какое же состояние имеется на самом деле. Таковыми являются, например, состояния каждой из систем I и II в составе состояния их пары. Доказательство фон Неймана состоит из двух частей. Во-первых, фон Нейман показал, что из смешанного состояния может быть выделено чистое состояние. Тем самым он утверждает реальность чистых ансамблей системы I. Во-вторых, он доказал, что даже чистый ансамбль не может быть бездисперсным (чистый ансамбль является гомогенным и не может быть представлен как смесь подансамблей). Если сопоставить этот вывод с первой частью фон-неймановской аргументации в пользу полноты квантовой механики, рассмотреть его как продолжение этой аргументации (от возмущений при измерениях), то становится ясно, что он касается нелокальности. Даже теоре-

тически нельзя обойти чего-то вроде возмущения систем ансамбля при всякой попытке расщепить этот ансамбль.

В настоящей статье была обозначена версия статистической интерпретации квантовой механики, предусматривающая полноту этой теории. В этой связи были сформулированы понятия статистической полноты и статистической нелокальности. Автор, вопреки ряду других специалистов по философии квантовой теории, настаивает на том, что признание квантовой механики в качестве статически полной теории влечет допущения о нарушении статистической локальности. Эту локальность можно сформулировать следующим образом: удаленное селективное измерение не может выделить чистый ансамбль из смеси.

Настоящая статья, думается, позволяет также поддержать А.А.Тяпкина, настаивавшего на "признании вклада советских ученых в развитие интерпретации квантовой механики"³⁹.

¹ См.: *Lammer M.* The Philosophy of Quantum Mechanics. N. Y.: Wiley, 1974. Ch. 10.

Redhead M. Incompleteness, Nonlocality and Realism. A Prolegomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics. Oxford: Clarendon Press, 1988.

Ballentine L.E. The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics // *Reviews of Modern Physics.* 1970. Vol. 42, № 4. P. 358-381; *Ballentine L. E.* Einstein's Interpretation of Quantum Mechanics // *American J. of Physics.* 1972. Vol. 40. P. 1763-1771.

Ballentine L.E. Quantum Mechanics. Prentice-Hall International, Inc, 1990. 486 p.

См.: *Мандельштам Л.И.* Лекции по основам квантовой механики // Лекции по оптике теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972 (Лекции прочитаны в 1939 г. и впервые опубликованы: *Мандельштам Л.И.* Полн. собр. тр. Т. 5. М.: АН СССР 1950); *Никольский К.В.* Квантовые процессы. М.: Гостехиздат, 1940; *Блохинцев Д.И.* Принципиальные вопросы квантовой механики. М.: Наука. 1966 (2-е изд. 1987 г.); *Он же.* Основы квантовой механики. 5 изд. М.: Наука, 1976 (первое издание было осуществлено в 1949 г.).

Redhead M. Op. cit. С. 44.

Эйнштейн А. Замечания о квантовой теории. Выступление в дискуссии на 5-м Сольвеевском конгрессе // *Эйнштейн А.* Собр. науч. тр. Т. 3. С. 528.

Redhead M. Op. cit. С. 16.

Эйнштейн А. Замечания о квантовой теории. С. 529; *Фок В.А.* Рец. на кн.: *Мандельштам Л.И.* Полн. собр. тр. Т. 5. М.: АН СССР, 1950 // *Успехи физ. наук.* 1951. Т. XLV С. 160-163.

Эйнштейн А. Замечания о квантовой теории. С. 529.

Там же. С. 528-529.

- ¹² Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать квантово-механическое описание реальности полным? // Эйнштейн А. Собр. науч. тр. Т. 3. С. 604.
Там же. С. 605.
Fine A. The Shaky Game. Einstein Realism and the Quantum Theory. Univ. of Chicago Press, 1986. P. 26-39; *Fine A.* Correlations and Efficiency: Testing the Bell Inequalities // Foundations of Physics. 1989. Vol. 19, № 5. P. 453-455.
Fine A. The Shaky Game. P. 38.
Ballentine L.E. The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics. P. 374.
Ballentine L.E. Quantum Mechanics. P. 438.
Мандельштам Л.И. Лекции по основам квантовой механики // *Мандельштам Л.И.* Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972. С. 333.
Там же. С. 362.
Блохинцев Д.И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1987. С. 39.
Elby A., Brown H.R., Foster S. What Makes a Theory Physically "Complete"? // Foundations of Physics. 1993. Vol. 23, № 7. P. 971-985.
Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать квантово-механическое описание реальности полным? С. 605.
Нейман Н. фон. Математические основы квантовой механики. М., 1964. С. 225-226.
Бом Д. О возможности интерпретации квантовой теории на основе представлений о "скрытых" параметрах. Статья 2 // Вопросы причинности в квантовой механике. М., 1956. С. 80.
- ²⁵ *Мандельштам Л.И.* Лекции по основам квантовой механики. С. 362.
- ²⁶ *Sellari F., Tarozzi G.* A Probabilistic Generalization of the Concept of Physical Reality // Speculations in Science and Technology. 1983. Vol. 6, № 1. P. 55-64.
Мандельштам Л.И. Цит. соч. С. 364.
- ²⁸ Там же.
- ²⁹ *Vom D.* Wholeness and the Implicate Order. L., ets.: Routledge and Kegan Paul, 1980. P. 79.
Belinfante F.J. A Survey of Hidden — Variable Theories. Oxford: Pergamon Press, 1973.
Ballentine L.E. The Statistical Interpretation... P. 376.
См.: *Печенкин А.А.* Интерпретация квантовой механики в "Лекциях" Л.И. Мандельштама и ее идеологический контекст // Вopr. истории естествознания и техники. 1997 № 2. С. 54-69.
Ballentine L.E. Op. cit. P. 380.
Алексеев И.С. Концепция дополнителности. Историко-методологический анализ. М., 1978.
Нейман И. фон. Математические основы квантовой механики. С. 228.
Мандельштам Л.И. Лекции по основам квантовой механики. С. 344.
Кемпфер Ф. Основные положения квантовой механики. М., 1967. С. 46-53.
Мандельштам Л.И. Цит. соч. С. 364.

³⁴ Тяжкин А.А. *Философские проблемы физики и вклад советских ученых в развитие интерпретации квантовой механики. Логика, методология и философия науки.* Вып. 8. М.: Обнинск, 1995. С 173.

Калибровочные преобразования и избыточное содержание физической теории

Калибровочные преобразования способны вызвать интерес методолога уже потому, что соединяют между собой множество несколько различных, но совершенно эквивалентных теоретических образов. Следует, вообще говоря, различать два типа эквивалентности как отношения между теоретическими образами или способами описания. К первому типу относится эмпирическая эквивалентность конкурирующих способов описания, которые отличаются друг от друга исходными физическими представлениями об отражаемой реальности, но одинаково хорошо объясняют известные на данный момент экспериментальные факты. Такая эквивалентность носит временный характер, поскольку развитие экспериментальной практики рано или поздно приводит к выводу об истинности одного из таких способов описания, а остальные отбрасываются¹. Ко второму типу относится подлинная, теоретическая эквивалентность, вытекающая из фундаментальных постулатов физической теории. Естественно, теоретическая эквивалентность имеет своим следствием и эмпирическую эквивалентность соответствующих описаний². Калибровочные преобразования действуют на множестве теоретических образов, эквивалентных между собой именно во втором смысле.

Впервые калибровочные преобразования появились в классической теории поля³. Состояние поля однозначно фиксируется величиной напряженности, но одному и тому же значению напряженности отвечает бесконечное множество различных потенциалов, связанных между собой калибровочными преобразованиями. Последние изменяют вид потенциалов, но оставляют неизменной величину напряженности, построенную

из этих потенциалов с помощью соответствующих математических приемов. Другими словами, величина напряженности инвариантна относительно калибровочных преобразований. Такой калибровочной инвариантностью по определению должны обладать все эмпирически проверяемые результаты теории.

Потенциалы, в отличие от величины напряженности, характеризуют состояние поля принципиально неоднозначно, только с точностью до калибровочных преобразований, т.е. обладают, по замечанию Е.Вигнера, информационной избыточностью⁴ Это свидетельствует о том, что, хотя объективная истинность является самой фундаментальной характеристикой отношения теории к реальности, истинные теоретические образы могут различаться по характеру соответствия отражаемой ими реальности. Следовательно, возникает необходимость в выделении различных типов объективности знания, принадлежащего одной и той же объективно-истинной теории. Для такого выделения мы предлагаем ввести понятие полной и частичной семантической объективируемости⁵

Понятие семантической объективируемости

Знание является полностью семантически объективируемым, если при правильной семантической интерпретации оно даст такой образ, все элементы которого однозначно соответствуют отражаемой реальности и, следовательно, могут быть целиком спроецированы на эту реальность (подчеркнем, что под этой реальностью имеются в виду описываемые знанием объекты и их существенные свойства, а не просто сумма эмпирических данных). Если такое однозначное соответствие отсутствует, будем называть знание семантически необъективируемым. Полная семантическая объективируемость представляет собой тип объективности знания, связанный с однозначностью отражения знанием своего предмета. Вообще говоря, такая однозначность может достигаться не для всех элементов знания. Семантически необъективируемое знание, в котором есть полностью семантически объективируемые элементы, будем называть частично (неполностью) семантически объективируемым. Такое знание имеет избыточное содержание, которое не может быть спроецировано на отражаемую реальность. Фактически под семантической объективируемостью мы понимаем полную

семантическую объективируемость, так как она требует наличия возможности спроецировать на отражаемый предмет все без остатка содержание знания. Естественно, установление семантической объективируемости является относительным к мощности используемых для этого средств.

Как и понятие объективной истинности, понятие семантической объективируемости характеризует отношение знания к реальности. Однако в рамках понятия истинности адекватность воспроизведения объекта рассматривается прежде всего с точки зрения всесторонней экспериментально-практической реализации знания. Иными словами, понятие истинности сопоставляет знание с принципиально практически значимыми сущностными структурами (имеется в виду именно принципиальная значимость, а не значимость с точки зрения сегодняшнего — по необходимости ограниченного — уровня практики или какой-либо частной ситуации). Понятие семантической объективируемости в этом смысле предъявляет к знанию более жесткие требования, ибо речь идет об однозначном соответствии (или несоответствии) знания и реальности безотносительно к тому, возможна ли хотя бы в принципе практическая проверка этой однозначности. Ясно, что объективная истинность знания есть необходимое условие семантической объективируемости⁶ При этом следует учитывать как относительность истины, достигаемой на каждой исторически определенной степени познания, так и отмеченную, выше относительность семантической объективируемости. Например, для того времени, когда в науке использовалось понятие теплорода, абстрактный объект “теплород” был семантически объективируемым, но в той же степени и в том же смысле, в каком представление о теплороде было относительной истиной, схватывавшей некоторые реальные свойства теплоты. Соображения, обосновывавшие истинность понятия теплорода, одновременно представляли собой те логические средства, относительно которых “теплород” семантически объективируем. Дальнейшее развитие физики привело к появлению новых, более адекватных понятий; относительно средств обоснования истинности этих понятий абстрактный объект “теплород” оказывается уже семантически необъективируемым.

Введение понятий полной и частичной семантической объективируемости помимо всего прочего имеет целью вычлениить различные типы объективности знания внутри одного и

того же истинностного соотношения. Одной из попыток концептуального выделения различных типов объективности знания было создание инвариантной концепции объективности⁷, в рамках которой утверждается, что неинвариантные теоретические образы “менее объективны”, чем инвариантные. Инвариантные теоретические образы не изменяются при проведении теоретических преобразований и однозначно соответствуют отражаемой реальности. Отсюда авторы инвариантной концепции объективности заключают инвариантность теоретического знания есть индикатор, критерий его объективности.

В нашей литературе инвариантная концепция объективности справедливо критиковалась за фактическое отождествление инвариантности знания с его объективностью, за определенное пренебрежение критерием практики. Однако выводы инвариантной концепции объективности несостоятельны даже в том случае, если иметь в виду лишь такие теоретические образы, истинность которых уже проверена на практике. С точки зрения указанной концепции неинвариантные величины потенциалов принадлежат к тому же типу объективности, что и неинвариантные величины СТО (специальной теории относительности). Так в рамках СТО величины пространственных и временных промежутков между событиями неинвариантны относительно преобразований Лоренца и неоднозначно соответствуют этим событиям, в то же время как величина релятивистского интервала между событиями инвариантна относительно преобразований Лоренца и не зависит от изменения системы отсчета. Однако и инвариантная величина релятивистского интервала и неинвариантные величины СТО полностью семантически объективируемы, поскольку одинаково однозначно соответствуют своему предмету. Дело в том, что для инвариантной величины интервала таким предметом будут сами реальные события, взятые независимо от выбора системы отсчета, а для инвариантных величин СТО таким предметом будут события, взятые в их физическом отношении к выбранной материальной системе отсчета. Специфика СТО (по сравнению с классикой) как раз и состоит в том, что здесь перепределяются предметные области таких величин, как, например, величины пространственных и временных промежутков. В то же время для каждого из множества эквивалентных потенциалов в принципе нельзя подобрать внешнюю предметную

область, на которую он мог бы быть однозначно спроецирован, поскольку калибровочные преобразования не связаны с какой-либо вариацией материальных средств описания. Поэтому неоднозначность отношения потенциалов к реальности принципиально не может быть устранена. Отсюда следует, что потенциалы и инвариантные величины СТО относятся к разным типам объективности знания.

Теоретическое описание поля с помощью информационно избыточных потенциалов дает картину, которая объективно-истинна, но семантически необъективируема, поскольку потенциалы могут быть полностью спроецированы на отражаемое ими состояние поля. Это свидетельствует о том, что объективная истинность не является достаточным условием полной семантической объективируемости.

В то же время объективная истинность является достаточным условием частичной семантической объективируемости, поскольку любое знание должно быть эмпирически интерпретировано, т.е. иметь в своем содержании элементы, однозначно соответствующие результатам эксперимента и исследуемой объективной реальности. В частности, полностью семантически объективируемой является величина напряженности, которая может быть построена с помощью потенциалов.

Избыточная информация — порок или достоинство?

В рамках классической физики можно обойтись без потенциалов и оперировать лишь величинами напряженностей. Неполная семантическая объективируемость потенциалов здесь может быть объяснена тем, что они представляют собой вспомогательные величины. Однако такое объяснение справедливо лишь для классической, но не квантовой физики. Сформулировать квантовую механику без использования потенциалов, с одними величинами напряженностей, можно только за счет введения нелокальностей, когда действие поля в одной точке определяется его значениями в других точках и, вообще говоря, в другой момент времени⁸. Но это означало бы изменение физического содержания теории.

В квантовой теории в принципе невозможно обойтись без потенциалов, и связанные с ними неопределенность и избыточная информация автоматически переносятся на волновую

функцию (ψ -функцию). Такие уравнения квантовой механики как уравнение Шредингера и уравнение Дирака не могут быть записаны без использования потенциалов. Это приводит к тому, что ψ -функция, являющаяся решением одного из этих уравнений, оказывается определенной лишь с точностью до связанного с калибровочными преобразованиями изменения фазы как функции координат. В этом смысле ψ -функция инвариантна относительно калибровочных преобразований. Кроме этого, независимо от указанного обстоятельства, ψ -функция определена лишь с точностью до выбора постоянной фазы. В результате одному и тому же состоянию квантовой системы соответствует бесконечное множество ψ -функций, отличающихся друг от друга значением фазы, связанным с выбранным (одним из многих возможных) видом потенциалов. Другими словами, каждая из этих эквивалентных ψ -функций несет избыточную информацию и не проецируется полностью на описываемое ею состояние системы. Таким образом, построенная из ψ -функций квантово-теоретическая картина реальности является лишь частично семантически объективируемой, хотя и принадлежит истинной теории. Полностью семантически объективируем только определенный аспект этой картины величины (ψ)², однозначно фиксирующие статистическое распределение результатов эксперимента.

Сравним между собой две картины реальности, складывающиеся первая из ψ -функций, а вторая — только из величин (ψ)². Обе картины объективно истинны, но вторая семантически объективируема полностью, а первая — лишь частично. Означает ли это, что вторая картина объективнее первой? Ответ на этот вопрос не так прост, как может показаться на первый взгляд. Действительно, абстрактные объекты первой картины несут в себе избыточную информацию, отсутствующую во второй картине, однако многие из законов объекта, адекватно изображаемых в первой картине, не могут быть воспроизведены в рамках второй. Например, в рамках второй картины невозможно сформулировать такой экспериментально проверяемый закон квантовой механики, как принцип суперпозиции, а формулировка ряда других законов оказывается чрезвычайно громоздкой и неудобной⁹. Это означает, что неполная семантическая объективируемость ψ -функций связана не с недостатками, а, наоборот, с адекватностью, объективностью такого описания. Аналогичная ситуация имеет место и для электро-

магнитных потенциалов: их использование является необходимым для теоретического объяснения чисто физических эффектов¹⁰. Примером может быть эксперимент (точнее, серия однотипных экспериментов), предложенный И.Аароном и Д.Бомом¹¹.

Один из таких экспериментов, поставленных Чамберсом¹², состоит в следующем. Плоская электронная волна проходит через дифракционную решетку с двумя щелями, обтекает с двух сторон соленоид бесконечной длины и сводится призмами на экран, регистрирующий характерную интерференционную картину. Ось соленоида перпендикулярна потоку электронов и параллельна экрану. Если по соленоиду потечет ток, то возникнет параллельное оси соленоида магнитное поле, не равное нулю лишь внутри соленоида, куда электроны не попадают. Аарон и Бом обратили внимание на тот парадоксальный факт, что включение тока и соответственно появление магнитного поля в соленоиде изменяет интерференционную картину на экране, несмотря на то, что в области пространства вне соленоида, где пролетают электроны, напряженность магнитного поля практически равна нулю, а конечное значение имеют только потенциалы, вид которых определен лишь с точностью до произвольно выбранного калибровочного преобразования. На уровне теоретического описания этот результат появляется благодаря наличию специфической связи между значениями потенциалов и вычисляемыми параметрами интерференционной картины. Для более детального рассмотрения лучше всего обратиться к аналогичному эксперименту из той же серии.

Плоская электронная волна делится на две части дифракционной решеткой с двумя щелями и каждая из частей втягивается в достаточно длинную металлическую трубку, расположенную напротив соответствующего отверстия решетки. После выхода из трубок части электронной волны сводятся вместе и попадают на плоский экран, где наблюдается интерференционная картина. Оси трубок перпендикулярны плоскости решетки и плоскости экрана и параллельны направлению движения электронов. При прохождении электронов через трубки на эти трубки накладывается разность потенциалов, которая снимается еще до выхода электронов из трубок. Внутри каждой из трубок потенциал не зависит от координат, т.е. напряженность поля там равна нулю. Электроны здесь проходят только через те области, в которых конечное значение имеют лишь потен-

циалы, а напряженность поля имеет нулевое значение. Однако интерференционная картина на экране, получаемая при наложении на трубки разности потенциалов, отличается от интерференционной картины, получаемой в отсутствие разности потенциалов.

Подчеркнем, что все эти результаты не отменяют неполноты семантической объективируемости потенциалов и получаются при определенности вида потенциалов только с точностью до произвольно выбранного калибровочного преобразования.

Адекватное объяснение описанной роли потенциалов заключается в следующем¹³. В классической физике потенциал, не зависящий от координат, в принципе не влияет на характер движения, хотя и обуславливает соответствующий член в выражении для энергии. В квантовой механике наличие потенциала, не зависящего от координат, сказывается лишь на фазе волновой функции и не влияет на движение микрообъекта. Однако в квантовой теории действует принцип суперпозиции: волновая функция, описывающая интерференционную картину на экране, представляет собой суперпозицию ψ -функций, каждая из которых отвечает прохождению электронов через соответствующую трубку. Наличие между трубками разности потенциалов приводит к тому, что эти различные компоненты суперпозиции к моменту выхода электрона из трубок набирают различные дополнительные значения фазы. Именно разность фаз у ψ -функций, являющихся компонентами суперпозиции, и ответственна за интерференцию. При отсутствии разности потенциалов имеет место одна величина разности фаз, а при наложении разности потенциалов — другая, что и приводит к различию интерференционных картин на экране.

Таким образом, в квантовой теории с помощью потенциалов объясняются экспериментально наблюдаемые эффекты, обусловленные состоянием электромагнитного поля, действие которого нельзя описать только с помощью напряженностей, причем это объяснение прямо связано с неоднозначностью соответствия потенциалов описываемому состоянию поля. Другими словами, остается в силе вывод о неполной семантической объективируемости потенциалов. Частичность семантической объективируемости ψ -функций и потенциалов отнюдь не свидетельствует о том, что складывающиеся из них теоретические картины реальности менее объективны и менее необходи-

мы, чем полностью семантически объективируемые теоретические образы. Неполная семантическая объективируемость теоретической картины объекта (в рамках истинной теории) указывает не на отсутствие объективности, но на особый способ ее достижения.

Парадоксы калибровочного поля

Описывающие поле потенциалы являются одним из факторов, обуславливающих возможность произвольной вариации фазы, что ведет к информационной избыточности эквивалентных ψ -функций, связанных между собой калибровочным преобразованием (это преобразование на множестве ψ -функций отвечает калибровочной трансформации потенциалов). Но данное логическое отношение можно обернуть так, что возможность произвольного калибровочного преобразования фазы сама станет логической причиной введения особого теоретического объекта — “калибровочного поля” Построение этого абстрактного объекта связано с локальными калибровочными преобразованиями¹⁴

Мы можем произвольно варьировать фазу α волновой функции, что приводит к умножению последней на множитель типа $\exp(i\alpha)$, не изменяющий предсказываемой статистики наблюдений (т.е. имеет место калибровочная инвариантность результатов теории). Однако такое преобразование будет означать мгновенное и одновременное изменение ψ -функции сразу во всех точках пространства, а это не совсем удовлетворительно из методологических соображений. В результате возникает идея локальных калибровочных преобразований: пусть в каждой точке пространства, на котором задана ψ -функция, будет проводиться свое, независимое от других, произвольное изменение фазы. Это означает, что фаза становится функцией от координат пространства. Но тогда в уравнении Шредингера (или Дирака) появляется дополнительный член, нарушающий калибровочную инвариантность уравнения. Чтобы обеспечить эту калибровочную инвариантность, приходится вводить в уравнение такие теоретические величины, изменение которых при локальном калибровочном преобразовании компенсирует указанный «нарушающий» член. Это соответствует введению в теорию представления о калибровочном поле (данные величи-

ны, обеспечивающие калибровочную инвариантность теории, выступают в качестве потенциалов этого поля). В частности, электромагнитное поле является калибровочным.

Приведенные рассуждения с особой остротой подчеркивают парадоксальность онтологического статуса калибровочных преобразований и калибровочных полей. С одной стороны, факту проведения калибровочных преобразований по определению не соответствуют никакие изменения во внешнем мире и в экспериментальной деятельности, т.е. имеет место калибровочная инвариантность теории¹⁵. С другой стороны, из постулата об инвариантности относительно локальных калибровочных преобразований логически вытекает представление о существовании калибровочного поля, приводящее к экспериментально проверяемым выводам. В результате возникает мысль, что теоретический конструкт “калибровочное поле” является семантически объективируемым не полностью, а лишь частично. При этом наличие избыточной информации (она сопряжена с калибровочной инвариантностью теории) здесь оказывается настолько тесно связанным с адекватностью физического описания, что ситуация поневоле вызывает ассоциации с ответом одного большого поэта на вопрос, без чего он может обходиться (как рассказывают, поэт ответил, что без необходимого он как-нибудь проживает, а вот без “лишнего” не сможет). Правда, в нашем случае теория в равной мере нуждается как в “необходимом” (в смысле: однозначном, неизбыточном), так и в “лишнем” (т.е. в информационной избыточности соответствующих величин).

Наиболее общую точку зрения на калибровочное поле дает математическая теория расслоений¹⁶. Расслоение — это математическая структура, состоящая из двух систем точек, называемых базой и полным пространством, а также правила, называемого проекцией, которое каждой точке полного пространства ставит в соответствие некоторую точку базы. Данное соответствие можно изобразить так, будто полное пространство нависает над базой, причем над одной точкой базы лежит целый слой точек полного пространства. Все точки, принадлежащие такому слою, проектируются в соответствующую ему точку базы. В каждом слое действует одна и та же группа преобразований, не затрагивающих базу. Например, для электромагнитного поля базой будет релятивистское пространство-время. Над каждой точкой этой базы будет находиться слой, представляющий

собой множество возможных фаз электрона, находящегося в данной точке пространства-времени. В таком слое действует группа калибровочных преобразований, изменяющих значение фазы, но не влияющих на физическое состояние частиц.

Поле представляется коэффициентом связности, преобразующим значение фазы в одной точке пространства-времени в значение фазы в другой точке пространства-времени. В роли таких коэффициентов связности выступают потенциалы. Все квантовые калибровочные поля можно представить как связности в соответствующих расслоениях над пространством-временем.

Информационная избыточность появляется здесь при проектировании всех точек слоя (т.е. возможных фаз, отвечающих одному и тому же физическому состоянию) в одну точку пространства-времени¹⁷. Такая избыточность автоматически встраивается в ψ -функции и потенциалы, однако она имеет место лишь в рамках отношения — функций и потенциалов к реальному состоянию поля. Если же речь идет о ψ -функциях и потенциалах как логических операциях построения конструкта “калибровочное поле”, то в этом контексте в них нет ничего “лишнего”. Парадокс заключается в том, что избыточность по отношению к описанию реального состояния оказывается необходимой для теоретического построения конструкта “калибровочное поле”. Это заставляет более подробно рассмотреть сущность соответствия между теорией и реальностью.

Знание как образ объекта и как оперативная схема

Адекватность теоретического знания заключается не только в соответствии отражаемому объекту, но и в соотносительности знания с приемами осваивающей этот объект практической и теоретической деятельности субъекта, в способности знания выражать свое содержание в виде эффективного метода решения практических и теоретических задач. На вторую из указанных здесь функций знания обратил внимание К.Маркс, исследуя связь абстрактных объемов математики с оперативной структурой математического мышления. Значок дифференциала в рамках математических рассуждений выполняет роль оперативного символа, указывая на те теоретические процедуры, которые надо произвести, чтобы получить искомым результат¹⁸

Математические абстрактные объекты не просто дают некоторый математический образ, но еще выражают “оперативную стратегию” (термин Маркса) действий, подлежащих выполнению в процессе оперирования этими абстрактными объектами.

Нетрудно видеть, что отмеченные два аспекта адекватности знания характерны не только для математики, но и для любой научной теории. Для обозначения этих функций могут быть применены понятия интенционального и экстенционального аспектов знания. В экстенциональном аспекте знание представляет собой систему абстрактных объектов, из которых строятся теоретические образы реальности. Подчеркнем, что понятие семантической объективируемости рассматривает истинное знание лишь в экстенциональном аспекте, как образ определенной реальности. Однако объективная истинность теории находит свое адекватное выражение в объективности не только экстенционального, но и интенционального аспекта теоретического знания. В интенциональном аспекте знание выступает как система теоретических операций (интенционалов), посредством которых осуществляется построение абстрактных объектов (т.е. экстенционального аспекта) теории и решение стоящих перед теорией задач как концептуального, так и практического порядка. В интенциональном плане теория представляет собой основанную на отражении объективной реальности специфическую стратегию разумной деятельности человека по практическому и теоретическому освоению действительности. Теория здесь, по верному замечанию Б.Я.Пахомова, “носит процессуальный, оперативный характер, она сама есть процесс владения знанием как формой общественного сознания”¹⁹

Взятое в экстенциональном аспекте, теоретическое знание выполняет функцию концептуального заместителя отражаемого объекта (репрезентативную функцию). В интенциональном же аспекте знание осуществляет регулятивную функцию и направляет человеческую деятельность по пути практического и теоретического освоения объекта. При этом экстенциональный аспект знания есть логическая свертка, идеально-предметное воплощение его интенционального аспекта. Поясним это логическое отношение на следующем простом примере. Ходы, позволенные шахматной фигуре на доске, составляют интенционал этой фигуры. Сама же эта фигура есть не что иное, как абстрактный объект, представляющий собой идеальное предметное воплощение, свертку этих ходов, а используемые в игре

обточенные кусочки дерева есть лишь материальные знаки соответствующих шахматных фигур — пешек, коней и т.д.²⁰ Аналогично абстрактные объекты, репрезентирующие в теории отражаемую реальность, представляют собой свертку тех теоретических процедур, посредством которых они определяются и используются.

Чем обусловлена объективность истинного теоретического знания, которое является лишь частично семантически объективируемым и, следовательно, несет в себе элементы содержания, не проецирующиеся на описываемую реальность? Общий ответ на этот вопрос лежит, на наш взгляд, в осознании ограниченности экстенционального контекста, в котором знание рассматривается с позиций понятия семантической объективности.

Понятие объективной истинности учитывает, что мир дан человеку посредством практической деятельности с реальными объектами. Соответствие знания действительности рассматривается здесь не просто как соответствие двух вещей — идеальной и объективно реальной, а в более широком плане, как адекватность знания тому содержанию практики, в котором воспроизводятся свойства объективно реальной вещи. При этом знание выступает не как застывший предмет, а как идеальная деятельность, выражающая способы практического и теоретического освоения объективного мира. Объективная истинность теории обнаруживается не при непосредственном сравнении ее абстрактных объектов с реальностью (такое сравнение в большинстве случаев просто невозможно), а прежде всего в способности теоретического знания быть адекватным средством решения задач по изменению объективной действительности и совершенствованию средств ее познания. Приступая к решению соответствующей задачи, человек использует экстенциональный аспект знания, дающий ему определенную картину реальности, но в процессе решения задачи знание выступает не в экстенциональном, а в интенциональном аспекте, как схема деятельности, ведущая человека к нужному ему преобразованию идеальных или материальных объектов.

Другими словами, объективная истинность теории проявляется прежде всего в интенциональном контексте, когда теория выступает не как застывший результат отражения, а как сам процесс отражения реальности. Операции, из которых складывается интенциональный план истинной теории, явля-

ются не только носителями не зависящего ни от человека, ни от человечества объективного содержания теории, но и мысленными действиями гносеологического субъекта. Каждое из таких действий представляет собой реализацию определенного отношения субъекта к объекту, опосредованного применением различных концептуальных инструментов теории. Например, одно и то же состояние поля может быть представлено с помощью различных потенциалов, а различие между эквивалентными ψ -функциями состоит в использовании разных значений фазы, отвечающих одному и тому же объективному состоянию. Тем самым в интенционалах истинной теории выражается не только ее объективное содержание, но и определенные субъект-объектные отношения.

В экстенциональном плане все системы операций (интенционалы), ведущие к одному и тому же результату, свертываются в эквивалентные, но несколько различные теоретические образы, каждый из которых выражает не только объективное содержание теории, но и соответствующее субъект-объектное отношение. Эти эквивалентные образы дают несколько различные изображения одной и той же реальности, т.е. содержат избыточную информацию, которая не может быть спроецирована на отражаемую реальность. Однако такая информация является избыточной лишь по отношению к репрезентативной функции знания, которая (и только которая) характеризуется понятием семантической объективируемости. Если же рассматривать регулятивную функцию знания, в которой оно предстает в интенциональном аспекте, то каждая из частично семантически объективируемых теоретических картин (несущих избыточную информацию) является однозначной сверткой своего интенционала (и реализующегося в нем субъект-объектного отношения). Образно говоря, объективность теоретического знания, взятого в интенциональном аспекте, состоит в том, что оно организовано как вектор, направляющий субъекта по пути практического и теоретического овладения объектом. Именно в силу указанных обстоятельств ψ -функции и потенциалы оказались избыточными лишь в экстенциональном, репрезентативном плане. Будучи же взяты в интенциональном, логико-оперативном плане, ψ -функции и потенциалы представляют собой необходимый компонент логической структуры теоретического отражения реальности.

Таким образом, адекватность теоретического знания состоит не только в том, что оно репрезентирует описываемую реальность, но и в том, что оно является оперативной схемой деятельности по теоретическому и практическому освоению объекта. Данные соображения можно применить и к таким абстрактным объектам, как “частица” и “поле”. Существование частиц и полей непосредственно не вытекает из экстремально обнаруженных явлений, и для создания соответствующих теоретических образов нужно соотносить экспериментальные данные с предварительным представлением о наличии этих физических вещей. Такого рода представления о “частице” и о “поле” являются предпосылкой²¹ создания соответствующих развитых теоретических образов и порождаются онтологизацией соответствующих схем деятельности. Например, в атомистической картине мира, являвшейся предпосылкой создания современной физики, своеобразно запечатлена “атомистичность” человеческой деятельности, строящейся путем комбинирования различных элементарных (идеальных и материальных) операций. Первые атомистические гипотезы древних были результатом онтологизации схемы объяснения, основанной на построении различных теоретических образов посредством разнообразных комбинаций одних и тех же теоретических элементов. Н.А.Мещерякова и Б.Я.Пахомов удачно назвали этот принцип объяснения “принципом конструктора”²². В атомистике Демокрита “принцип конструктора” был явно осознан в виде “принципа алфавита”: Демокрит подчеркивал аналогию атомов с буквами, из которых образуются предложения. Из одних и тех же атомов путем их различных соединений могут быть построены различные тела; аналогично из одних и тех же букв может быть построен и трагический, и комический текст²³.

Характерным признаком поля как физической системы является наличие у него бесконечного числа степеней свободы. Поэтому образ поля связан со схемой человеческой деятельности, заключающейся в достижении нужного результата с помощью требуемого изменения параметров из некоторого бесконечного множества. Эту схему можно назвать “принципом скульптора”: из одного и того же куска глины скульптор может вылепить самые различные статуи, придавая глине разнообразные формы, т.е. производя взаимосогласованные изменения бесчисленного множества пространственных параметров.

В этом смысле образ поля есть результат осмысления “принципа скульптора” в терминах картины реальной вещи, т.е. особого носителя свойств²⁴

Связь между “принципом конструктора” и “принципом скульптора”, с одной стороны, и физическими образами частиц и полей, с другой, особенно хорошо заметна при рассмотрении квантовой теории поля. Электромагнитное поле можно представить как систему частиц (фотонов), которые представляют собой квантованные возбуждения поля как целого. Подобное рассмотрение исключает фиксацию локальных пространственных характеристик поля. Образ каждой из указанных частиц выступает концептуальным “кирпичиком” построения теоретической картины квантового поля и является в большей степени результатом онтологизации абстрактного “принципа конструктора”, чем следствием применения каких-либо макроскопических аналогий обыденного языка. “Если... — замечает Ф.Кемпфер, — употребляют слово “частица”, подразумевая объект, наделенный некоторыми физическими свойствами, то пагубное влияние языка (классического — С.Ж.) ощущается тогда, когда пытаются полностью избежать невольного использования некоторого мысленного образа “частицы” от использования неадекватных мысленных образов, призывая к своего рода интеллектуальному аскетизму”²⁵ Ф.Кемпфер совершенно прав, но лишь постольку, поскольку речь идет о классическом представлении о “частице”. В то же время квантовая теория повсеместно использует образ частицы как результат онтологизации “принципа конструктора”, достигая адекватного “интеллектуального аскетизма” в смысле свободы от макроскопических аналогий, когда речь идет о сущностной структуре микромира²⁶

Другой способ описания квантового поля, находящийся в отношении боровской дополнительности к первому, заключается в рассмотрении локальных пространственных параметров поля. Здесь квантовое поле представляется с помощью функций, описывающих зависимость локальных операторов поля от координат и времени. В этом случае на первый план выходит образ “поля” как результат онтологизации “принципа скульптора” в терминах картины физической вещи.

Итак, избыточная информация, сопряженная с интенциональным (оперативным) планом теории является не недостатком, а, наоборот, условием адекватности теоретического опи-

сания. Это связано с тем, что цель естественнонаучной теории состоит не просто в отражении реальности “самой по себе”, но в реконструкции существенных структур, исходя из знания которых можно строить логику духовного и практического освоения этой реальности. Такие сущности структуры в общем случае имеют интенциональный характер и их содержанием является не только реальный объект, но и та система отношений субъекта к объекту, которая должна быть реализована для практического и теоретического овладения этим объектом. В экстенциональном плане данные сущностные структуры предстают в виде абстрактных объектов, выполняющих функцию теоретических представителей отражаемой реальности, но являющихся носителями “избыточной” информации, относящейся не только к этой реальности, но и к способам ее освоения человеком. Содержание достаточно сложной истинной теории оказывается богаче, чем ее объективное содержание (т.е. содержание, не зависящее ни от человека, ни от человечества), однако дополнительное (“избыточное”) содержание является необходимым для достижения объективной истинности теоретического описания.

Конечно, отсюда отнюдь не следует, будто теория не отражает сущность объекта “самого по себе”. Такое отражение имеет место, но оно всегда происходит в человеческих действительностных формах. При этом бессмысленной была бы попытка жестко разделить содержание теоретических образов на две части, одна из которых соответствовала бы сущности объекта “самого по себе”, а другая — “избыточным” компонентам, связанным со способом человеческого овладения объектом в практике и мышлении. Попытка такого разделения привела бы только к разрушению теоретического образа: последний свертывает в себе определенные теоретические операции и отношения субъекта к объекту и неминуемо разрушается при удалении оперативного компонента теории.

В общем случае ясно, что развитие теоретического познания немыслимо без поиска новых экстенциональных структур (системы теоретических объектов), в которых объективное содержание интенционального плана находило бы более адекватную предметную форму выражения и развертывания. Любопытно, что, несмотря на самые экзотические новации (введение новых представлений о движении, связях, структуре и т.д.), в самых глубоких основаниях современных теорий мы

видим сравнительно небольшое число исходных (затравочных) образов фундаментальных физических вещей, которым приписываются свойства и отношения (это прежде всего “частицы” и “поля”). Было бы весьма интересно исследовать эти теории на предмет их переформулировки в терминах тех или иных, еще не известных науке физических вещей, когда теоретические отношения (интенционалы) свертываются, опредмечиваются в виде новых “вещественных узлов”. Быть может, прогресс той области физики, которая сегодня носит название теории элементарных частиц, будет связан с переходом к принципиально новым представлениям о “вещном” составе физического мира, и то содержание, которое сегодня осмысливается как свойства и отношения частиц и полей, предстанет в качестве свойств и отношений принципиально иных физических объектов.

См.: *Мамчур Е.А.* Проблема выбора теории. М., 1975.

Между такими описаниями, впрочем, иногда имеются различия в степени математической сложности получения эмпирически проверяемых выводов, однако это не относится к рассматриваемому случаю.

Об истории применения калибровочных преобразований см.: *Визгин В.П.* Калибровочная симметрия от Вейла до Янга и Милса // История и методология естественных наук. Вып. XXX. Физика. М., 1983.

Вигнер Е. Этюды о симметрии. М., 1971. С. 41.

Жаров С.Н. Пути достижения объективной истины и избыточное содержание научной теории // Филос. науки 1986. № 2. С. 10-17

Во избежание недоразумений заметим, что это утверждение справедливо только для тех случаев, где понятие истинности применимо. Оно теряет свою силу там, где понятие истинности неприменимо (например, для нормативных высказываний). Кроме этого есть целый ряд других ограничений, однако они несущественны в контексте данной статьи. Проблема «объективизации» теоретико-физических понятий активно обсуждается в литературе, однако критерии этой объективизации подчас носят несколько упрощенный характер (см., например: *Busk P., Mittelstaedt P.* Objectification in Quantum Mechanics // Found. Phys. 1991. Т 21, № 8. P 889-904. О современном состоянии проблемы в целом см., напр. *Zowdin P.O.* Some aspects of objectivity and reality in modern Science // Found. Phys. 1992. Т 22, № 1. P. 41-105.

См.: *Вейль Г.* Симметрия. С. 148-150, 159-160; *Дирак П.* Принципы квантовой механики. 2-е изд. М., 1979. С 9; *Борн М.* Физика в жизни моего поколения. М. 1963.

Dewitt B.S. Quantum Theory without Electromagnetic Potentials // Physical Review. 1962. Vol. 125, № 6.

См.: *Блохинцев Д.И.* Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1966. § 7.

- ¹⁰ См.: *Жаров С.Н., Крыловецкий А.Г.* Избыточная информация и проблема объективности физического знания // *Филос. науки.* 1985. № 6.
- Aharonov Y., Bohm D.* Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory // *Physical Review.* 1959. Vol. 115. № 3; *Aharonov Y Bohm D.* Further Considerations on Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory // *Physical Review.* 1961. Vol. 123, № 4; *Aharonov Y., Bohm D.* Further Discussion of The Role of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory // *Physical Review.* 1963. Vol. 130, № 4. Вопросы, поставленные Аароновым и Бомом, активно обсуждаются в современной литературе. См. напр. *Brown R.A., Home D.* Locality and causality in time-dependent Aharonov Bohm interference // *Nuovo sim. B.*, 1992. T. 107 № 3. P 303-316.
- Chambers R.G.* Shift of an electron interference pattern by enclosed magnetic flux // *Physical Review Letters.* 1960. Vol. 5, № 1.
- См.: *Фейнберг Е.Л.* Об “особой роли” электромагнитных потенциалов в квантовой механике // *Успехи физ. наук.* 1962. Т 78, вып. 1
- См.: *Коноплева Н.П., Попов В.Н.* Калибровочные поля. М., 1972; Элементарные частицы и компенсирующие поля. М., 1964; Квантовая теория калибровочных полей. М. 1977; *Барашенков В.С.* Законы симметрии в структуре физического знания // *Физическая теория (Филос.-методол. Анализ).* М., 1980; *Визгин В.П.* Калибровочная симметрия от Вейля до Янга и Миллса. М., 1983.
- Как подчеркивают Н.П.Коноплева и В.Н.Попов, “Калибровочными преобразованиями называют те преобразования функций, описывающих движение частицы, которые не отражаются на наблюдаемых характеристиках движения, т.е. не меняют физического состояния ее” (*Коноплева Н.П., Попов В.Н.* Калибровочные поля. С. 11).
- См.: *Бернштейн Г., Филлипс Э.* Расслоения и квантовая теория // *Успехи физ. наук.* 1982. Т. 136, вып. 4; *Коноплева Н.П., Попов В.Н.* Калибровочные поля. Наше изложение вопроса основано на этих работах. См. также *Даниэль М., Виалле С.М.* Геометрический подход к калибровочным теориям типа Янга — Миллса // *Успехи физ. наук.* 1982. Т 136, вып. 3.
- Подчеркнем, что, говоря об информационной избыточности по отношению к реальному состоянию, мы имеем в виду только квантовые калибровочные поля, конкретно электромагнитное поле, не касаясь калибровочных теорий гравитации.
- Маркс К.* Математические рукописи. М. 1968. С. 39, 57, 195.
- Пахомов Б.Я.* Основная “клеточка” и структура познавательного отношения субъекта к объекту // *Проблема субъекта и объекта в истории философии и в современной науке.* Воронеж, 1974. С. 77
- Гудстейн Р.Л.* Математическая логика. М. 1961. С. 22.
- Эти предпосылочные представления названы нами затравочными абстрактными объектами. Можно показать, что они выполняют фундаментальную роль в логике сформировавшейся теории. См.: *Жаров С.Н.* Затравочные абстрактные объекты как системообразующий фактор становления научной теории // *Естествознание: системность и динамика.* М. 1990. С. 33-48.

Мещерякова Н.А. Пахомов Б.Я. Идеи кибернетики в развитии концептуального аппарата биологии // Биология и современное научное познание. М. 1980. С. 163.

См.: *Материалисты Древней Греции. М. 1955. С. 58.*

Ср. с работой К.А.Хукера. Он указывает на две центральные онтологические схемы физики — атомистическую и полевою или волновую, которую он называет “пленимой” Если поведение совокупности атомов объясняется действием каждого из них на все остальные, то состояние “пленима” характеризуется пространственным распределением его свойств (См.: *Hooker C.A. Metaphysics and modern physics: a prolegomenon to the understanding of quantum theory // Contemporary research in the foundations and philosophy of quantum theory. Dordrecht; Boston, 1973).*

²⁵ *Кемпфер Ф. Основные положения квантовой механики. М. 1967. С. 15.*

²⁶ Заметим, что это отнюдь не отменяет неизбежность использования классических понятий при эмпирической интерпретации квантовой теории. О современном состоянии проблемы интерпретации квантовой механики см. напр.: *Демуцкий В.П., Половин Р.В. Концептуальные вопросы квантовой механики // Успехи физ. наук. 1992. Т. 162, вып. 10. С. 93-180*

О методах финслеровой геометрии в теоретической физике: опыт методологического анализа

Одной из наиболее заманчивых идей современной физики является идея «великого объединения» всех фундаментальных взаимодействий. В настоящее время объединение уже достигнуто для электромагнитного и слабого взаимодействия и видны обнадеживающие перспективы дальнейшего продвижения на этом пути. Смысл этой перспективы состоит в том, что единая теория электрослабых взаимодействий и уже созданная теория сильных взаимодействий — квантовая хромодинамика (КХД), имеют фундаментальную общую характеристику: они являются квантовыми теориями полей, обладающих локальной калибровочной симметрией динамических переменных. Это обстоятельство и позволяет надеяться на возможность их объединения в рамках более общей теории.

Не менее значимым является и то обстоятельство, что существует аналогия между теориями электрослабых взаимодействий и КХД, с одной стороны, и общей теорией относительности (ОТО), с другой. Смысл этой аналогии состоит в том, что общую теорию относительности также можно рассматривать с позиций локальной симметрии, но уже не калибровочных преобразований динамических полевых переменных, а лоренцевых преобразований пространства и времени. Именно это обстоятельство образует основу синтезирования идей общей теории относительности с достаточно емкими обобщениями идей теории калибровочных полей [1-4].

Одним из важных аспектов такого синтеза является современная интерпретация идеи геометризации физики, восходящей к работам Г. Вейля. Дело в том, что математический аппарат теории калибровочных полей по своей структуре эквивалентен аппарату математических теорий расслоенных прост-

ранств [3] — одной из наиболее мощных и красивых математических теорий. Суть этой теории состоит в рассмотрении сложного многообразия, основу которого образует носитель — база, обладающая существенно неевклидовой или даже неримановой структурой. В каждой точке базы задаются касательные пространства и сечения, обладающие уже более простыми структурами, которые определяются геометрией базы, точнее говоря — структурой ковариантной производной любых геометрических объектов на касательных пространствах и сечениях по параметрам базы.

Связь между математической теорией расслоенных пространств и теорией калибровочных полей состоит в том, что поля, которые характеризуют частицы-источники, можно рассматривать как сечения расслоенного пространства, базой которого является четырехмерное пространство-время. Сами же калибровочные поля описываются геометрическими характеристиками — связностями расслоенного пространства. Динамическая симметрия, локализация которой требует введения «компенсирующих» калибровочных полей, является группой симметрии слоя, а «компенсирующая» производная, с помощью которой в лагранжиане поля и в полевых уравнениях учитывается переход от «глобальной» динамической симметрии к «локальной» и взаимодействие исходных полей с калибровочными, отождествляется с ковариантными производными в расслоенных пространствах.

Данная концепция хорошо известна и стала, начиная еще с 60-х годов, основой попыток построения единой квантовой теории взаимодействия элементарных частиц. Представляется интересным тот факт, что общая теория калибровочных полей возникает с некоторым «опозданием», лет через 25-30 после ее формулировки в электродинамике, несмотря на успехи в 30-х и 40-х годах принципов инвариантности и теоретико-групповых методов. Причина этого заключается в том, что только к началу 50-х годов накопился достаточно обширный эмпирический материал по взаимодействиям элементарных частиц [5, с. 279]. Этот материал удалось систематизировать в терминах законов сохранения и связанных с ними внутренних симметрий. Понятие «внутренняя симметрия» и является одним из наиболее фундаментальных. Дело «в том, что при наличии закона сохранения некоторого внутреннего свойства должно с необходимостью существовать соответствующее ему взаимодействие век-

торного типа, иначе этот закон сохранения противоречил бы понятию локализованного поля" [6, с. 52].

Так в теории сильно взаимодействующих полей фундаментальную роль играет понятие изотопической инвариантности. Вслед за Гейзенбергом изотопическая инвариантность до сих пор трактуется просто как "внутренняя" симметрия относительно трехмерных вращений во "внутреннем" (изотопическом) пространстве. Эта симметрия приводит к сохранению в процессах сильного взаимодействия особого квантового числа — изотопического спина и указывает на то, что сильно взаимодействующие частицы должны группироваться в семейства "похожих" частиц — изотопические мультиплеты. Общий метод расслоенных пространств, т.е. математический аппарат теории калибровочных полей, не выясняет пространственно-временной природы слоев, дает всего лишь абстрактное геометрическое описание этой инвариантности (как и многих других групповых симметрий). В этом смысле калибровочные теории являются во многом феноменологичными теориями, родившимися на основе экспериментальных данных по взаимодействию элементарных частиц.

Возникает интересный вопрос: может ли та или иная "внутренняя" симметрия, локализация которой приводит к соответствующему калибровочному полю, быть проявлением геометрической симметрии какой-нибудь структуры реального пространства-времени?

В качестве "кандидата" риманово пространство, используемое в общей теории относительности, явно не подходит. Действительно, риманов метрический тензор наделяет нетривиальной метрической структурой только базу M , тогда как касательные пространства $T(x)$ он снабжает лишь тривиальной метрической структурой псевдоевклидова пространства. Поэтому риманова геометрия не дает возможности для конструктивного анализа проблемы общих метрических свойств касательных пространств, а следовательно, и всего касательного расслоения. Необходимо использование методов теории метрических пространств более общих, чем римановы.

Таким пространством, как нам представляется, может служить финслерово пространство, являющееся непосредственным обобщением риманова. Идея использования финслеровой теории для физики калибровочных полей не нова — она высказывалась, например, в работе [7]. Использовалось финсле-

рово пространство и для обобщения теории относительности, чему посвящено огромное количество работ (см. работу [8] и библиографию в ней).

Надо отметить, что идея использования неримановых теорий в различных вариантах “объединенных” теорий имеет вообще давнюю историю. Начиная с Вейля, предложившего в 1918 г. первый вариант неримановой геометрии, в которой электромагнитное поле приводило к изменению длины вектора при параллельном переносе, Картана, заложившего в 1922 г. основы пространства с кручением, Калуцы, построившего в 1921 г. пространство пяти измерений, и наконец, Эйнштейна, развивавшего многие варианты, в том числе телепараллелизм как частный случай кручения (1928 г.) и несимметричную метрику, предлагалось много различных вариантов. Все они, как известно, не привели к объединению, и данное направление стало не удовлетворять действительности после открытия множества новых полей и частиц.

Первоначальный замысел программы геометризации физики, т.е. сведения реальности к одной из обобщенных геометрий пространства-времени остался нереализованным. Это случилось, как нам представляется, в силу того, что все эти попытки носили чисто классический характер и не учитывали квантовой структуры реальности.

Более того, в некоторых из этих вариантов предполагалось, что квантовые характеристики мира можно будет получить опять-таки как следствие специфики геометрии. Однако переход в конце 50—60-х гг. от классического рассмотрения к теории квантованных калибровочных полей и дальнейшее объединение этих теорий с концепцией единства всех взаимодействий и геометрической интерпретацией, вызвал новую волну интереса к идеям геометризации.

Как образно заметил Ю.И.Манин, сейчас “геометрия служит некоторым консервантом для скоропортящейся физики” и “геометрические идеи Римана, Эйнштейна, Германа Вейля и Эли Картана по-прежнему работают в фундаментальной физике” [9, с. 15-16].

С этой точки зрения, как уже отмечалось выше, и может быть успешно использована теория финслеровых пространств, обладающих достаточно богатыми “внутренними” структурами, необходимыми для введения различных полей. Вместе с тем необходимо отметить, что попытки использования финслеро-

ния финслеровой геометрии для описания фундаментальной структуры мира элементарных частиц не очень многочисленны и многие возможности этой математической теории совершенно не изучены.

Как отмечает Асанов [9, с. 439], “наличие многих пробелов в выяснении возможностей финслерова подхода... может вызвать чувство удивления ввиду широкой распространенности различных, часто довольно абстрактных, математических методов” в современной теоретической физике. Как нам представляется, причина этого вовсе не в том, что финслерова геометрия пока не получила широкого распространения среди физиков-теоретиков, а в том, что она диктует необходимость пересмотра структуры пространства-времени уже на классическом уровне.

Прежде чем переходить к обоснованию необходимости введения в физику финслеровой геометрии, рассмотрим вопрос — что же такое финслерова геометрия?

Общая теория пространств Финслера восходит к знаменитой лекции Римана “О гипотезах, лежащих в основаниях геометрии” (1854 г.) [10]. В этой лекции Риманом обсуждаются различные возможности метризации n -мерного многообразия и уделяется особое внимание метрике, задаваемой положительным квадратным корнем из положительно определенной квадратичной дифференциальной формы. Эта метрика лежит в основе римановой геометрии. Далее предполагается, что метрической функцией может служить также и положительный корень четвертой степени из дифференциальной формы четвертого порядка. Указанные метрические функции обладают с математической точки зрения следующими тремя общими свойствами: они положительны, однородны первой степени по дифференциалам, а также являются выпуклыми функциями дифференциалов. Поэтому представляется естественным ввести дальнейшее обобщение, в котором расстояние ds между двумя близкими точками с координатами x^i и $x^i + dx^i$ определяется некоторой функцией $|F(x^i, dx^i)$, удовлетворяющей этим трем условиям, так что

$$ds = |F(x^i, dx^i) \quad (i = \overline{1, n}) \quad (1)$$

Очевидно, такое пространство является обобщением риманова пространства. Действительно, если функция имеет вид

$$F(x^i, dx^i) = [g_{ij}(x^k) dx^i dx^j]^{1/2}, \quad (2)$$

где коэффициенты $g_{ij}(x^k)$ не зависят от dx^i , то метрика, определяемая с помощью функции F и является метрикой риманова пространства.

В общем случае метрический тензор можно ввести в финслеровом пространстве с помощью уравнений

$$g_{ij} = \frac{1}{2} \frac{\delta^2 F^2(x, \dot{x})}{\delta \dot{x}^i \delta \dot{x}^j} \quad (3)$$

(т.к. из-за однородности первой степени по дифференциалам ds можно представить $ds = F(x, dx) = F(x, \dot{x}) dt$).

Первоначально Финслер не использовал методов тензорного анализа и развивал свои идеи, руководствуясь в основном понятием вариационного исчисления. Только в 1925 г тензорный анализ был применен к этой теории почти одновременно Сингом, Тейлором и Бервальдом. Ими и было обнаружено, что вторые производные от $(1/2) F^2(x^i, dx^i)$ по дифференциалам играют замечательную роль компонент метрического тензора (аналогично римановой геометрии) и что из дифференциальных уравнений геодезических можно вывести коэффициенты связности, определяющие обобщение параллельного переноса Леви-Чивиты.

Интересным (и для нас особенно важным) является то, что касательное пространство T_x к точке x^i основного многообразия обладает римановой структурой, что и дает возможность вводить нетривиальные структуры.

С точки зрения физики финслерова геометрия описывает неоднородное пространство — пространство с выделенными направлениями (т.к. в функцию $F(x^i, \dot{x}^i)$ явным образом входит вектор \dot{x}^i). Этим и обусловлена, на наш взгляд, причина того, что аппарат финслеровой геометрии не получил широкого распространения в теоретической физике, т.к. требование однородности пространства и времени является одним из фундаментальных в современной физике.

Этот вопрос весьма важен и на первый взгляд может “зарезать на корню” применение финслеровой геометрии. К более подробному рассмотрению этой проблемы мы вернемся чуть ниже, сейчас же отметим, что локальная справедли-

вость специальной теории относительности однозначно дает возможность обобщения на финслеров случай, не входя в противоречие с экспериментальным базисом теории относительности [7, с. 441].

Сейчас же остановимся на тех вопросах, разрешение которых может привести к требованию введения финслеровой геометрии в аппарат теоретической физики.

Одним из таких вопросов являются трудности, возникающие в теории относительности вокруг проблем, связанных с понятиями системы отсчета, чему посвящено значительное количество работ [см. напр.: 11-13, 14].

“Понятие физической системы отсчета (лаборатории) не совпадает с понятием координатной системы, — пишет В.А.Фок. — Соответствие между системой отсчета и координатной системой, вообще говоря, не однозначно, даже если понимать термин “система отсчета” в математическом смысле. Одной и той же системе отсчета могут соответствовать разные координатные системы” [14, с. 259].

Детальному анализу этой проблемы посвящены работы В.И.Родичева. “Система отсчета, с одной стороны, представляет собой как бы мизансцену, на фоне которой разворачиваются события, с другой стороны, — это своеобразный физический прибор, предназначенный для выполнения некоторых измерений, и, как таковой, имеет нечто общее с любым, обычным, физическим прибором” [12, с. 89].

Так, например, вольтметр имеет прежде всего физическую основу — базис, состоящий из магнита, рамки с обмоткой, стрелки и т.д. Но этот базис превратится в физический прибор, пригодный для измерений, только после того, как будет осуществлена его градуировка, которая должна быть в принципе любой, но однозначным образом зафиксирована на его шкале.

Точно так же и система отсчета должна иметь физический базис — набор определенным образом движущихся или неподвижных тел, стандартных приспособлений и часов. Это могут быть, вообще говоря, Солнце, звезды, сигналы радиомаяка, гироскопы и другие датчики, позволяющие ориентироваться в пространстве и времени. Но такой базис превратится в систему отсчета после того, как он будет проградуирован.

Градуировка базиса системы отсчета распадается на две существенно различные процедуры. Будем их, вслед за Родичевым, называть А- и В-градуировки. А-градуировка, точечная,

позволяет сопоставить в известном порядке всем телам базиса (в пределе — всем материальным точкам системы) и моментам времени, некоторые числа (т.е. четыре числа). Такая градуировка, т.е. перечисление (нумерация) точек физического пространства уже позволяет описывать положение и изменение положения тел.

Числа x^i принадлежат некоторой числовой области Ω и являются геометрическим отображением нумерации точек в реальном пространстве-времени. От такого отображения требуется только непрерывность и взаимная однозначность, а в остальном оно совершенно произвольно. Числа x^i являются координатами, а отображение на область Ω называется координатной системой. Очевидно, что способ нумерации пространственно-временных точек никак не отражается на базисе системы отсчета, никак не связан с изменением физической ситуации и может выбираться в значительной мере произвольно в виде любых криволинейных сеток (координат), исходя из соображений удобства. В выбранной системе отсчета можно ввести несколько систем координат, причем переход от одной системы к другой осуществляется с помощью преобразований (А-преобразование):

$$x^i = f^i(x^j), \quad x^j = \varphi^j(x^i). \quad (4)$$

В произвольной системе координат величины dx^i не могут быть истолкованы ни как отрезки длины, ни как промежутки времени; для этого необходимо ввести метрику. Среди множества криволинейных координат только галилеевы координаты имеют непосредственный физический, а следовательно, и метрический смысл — пространственные координаты и время; они являются результатами измерений, выполненных наблюдателем.

Однако одной А-градуировки еще недостаточно. Для характеристики движущегося тела одного значения мгновенного положения центра масс недостаточно, необходимо знать его мгновенную ориентацию и скорость центра масс. Для этого необходимо выбрать тело отсчета, условно приписав ему ско-

Ряд простейших криволинейных (трехмерных) систем координат, таких, как цилиндрические, сферические и некоторые другие, имеют также метрический смысл и могут быть получены путем измерений [11, с. 117].

рость, равную нулю, т.е. выбирается базис инерциальной системы отсчета, представляющий собой совокупность покоящихся относительно друг друга физических реперов, т.е. часов и тел с физически выделенными направлениями. Относительно этих реперов делаются локальные отсчеты, т.е. фактически выполняются измерения. Но прежде необходимо физически выделенным направлениям сопоставить начальные значения углов, а самим телам — начальные значения скорости, т.е. осуществить В-градуировку системы отсчета.

Из первого постулата специальной теории относительности вытекает, что физический смысл имеют только относительные ориентации и скорости движения, следовательно, мы можем локальным физическим реперам сопоставлять любые, распределенные по произвольному закону, начальные значения углов и скоростей (не превосходящих скорости света).

Отсюда следует, что выбор той или иной В-градуировки не имеет существенного значения, а поэтому, как и в случае А-градуировки, может подвергаться дальнейшим, в общем случае нестационарным, изменениям.

Геометрически начальные (нулевые) направления в трехмерном плоском пространстве отображаются трехмерным ортонормированным репером — декартовой триадой, или точнее, однородным полем триад. Они отличаются в этом случае только параллельными сдвигами. Если же локальные направления выбираются локально, геометрическим отображением будет уже неоднородное поле триад.

Согласно специальной теории относительности, нумерацию относительных скоростей геометрически отображают с помощью перечисления направлений четвертых, ортогональных триадам времени подобных векторов, т.е. геометрическим отображением всей В-градуировки будет в общем случае неоднородное поле тетрад.

Как и в случае А-градуировки, две различные В-градуировки совершенно равноправны и связаны друг с другом определенной группой преобразований.

Из того факта, что хотя выбор А- и В-градуировки операция необходимая, но в основном формальная, не влияющая ни на состояние движения системы отсчета, ни на состояние изучаемого объекта, вытекают два важных следствия [12, с. 92].

1. Законы природы аналитически должны выражаться в форме общековариантной относительно обеих групп преобразований (А) и (В).

2. Все физические величины должны геометрически отображаться общековариантными относительно групп (А) и (В) тензорами.

Из предыдущего рассмотрения следует еще один важный вывод — преобразование групп (А) и (В) не могут описывать переход от одной системы отсчета к другой, и это даже в том случае, когда преобразования групп (А) и (В) любым образом зависят от времени. Ведь в этом случае они описывают всего лишь переход к новой, нестационарной в данном случае, градуировке одной и той же системы отсчета!

Действительно, пусть, например, компоненты вектора $r(t)$ в декартовой системе координат X^k будут $r^k(t)$, тогда при переходе к произвольной нестационарной сетке

$$x^i = x^i(X^k, t) \quad i, k = 1, 3 \quad (5)$$

компоненты вектора r запишутся в виде

$$r^i = \frac{\partial x^i}{\partial X^k} \quad (6)$$

Теперь компоненты r^i будут зависеть от времени даже в том случае, если исходные r^k были постоянными. Отсюда следует, что зависимость произвольных компонент вектора r^i от времени еще не указывает на изменение самого вектора r , т.е. не указывает на наличие движения физического тела.

Особенно ясно это видно в случае преобразования скорости, порожденного преобразованием координат (5). В этом случае имеем

$$V^i = \frac{\partial x^i}{\partial X^k} V^k; \quad V^k = \frac{dr^k}{dt} \quad (7)$$

Тогда, если тело покоится, т.е. если $V^k = 0$, то очевидно и $V^i = 0$ при любой зависимости координат x^i от времени. Таким образом, с помощью произвольных преобразований координат, даже если они любым образом зависят от времени, невозможно описать переход между системами отсчета! В свое время даже

Эйнштейн, по его словам, не так легко освободился от представления, что координаты и их произвольные преобразования имеют метрический и физический смысл [12, с. 93].

Как же должен отображаться базис системы отсчета? И как тогда описывается переход от одной системы отсчета к другой? Не останавливаясь на этом подробно, укажем, что базис системы отсчета геометрически отображается конгруэнцией мировых линий (т.е. линии времени так называемой, синхронной системы координат), дифференциальной характеристикой которой будет поле касательных векторов $u^i = dx^i ds$. Такое поле u^i полностью общековариантно. Если имеется другая система отсчета, то отображением ее базиса будет другое векторное поле u'^i . Тогда в каждой точке будут заданы два вектора u и u' , принадлежащие различным полям. Как мы уже видели выше, переход от одной системы отсчета к другой не может быть описан ни с помощью А-преобразования, ни с помощью В-группы.

Можно показать, что переход от поля u к полю u' описывается с помощью так называемого аффинора Ω , т.е. некоторой операцией общековариантной относительно обеих групп преобразований (А) и (В).

$$u = \Omega u' \quad (8)$$

Как нам представляется, наиболее адекватным математическим аппаратом, позволяющим сразу оперировать на многообразии, зависящем не только от координат, но и от касательных векторов (скоростей) и является аппарат финслеровой геометрии. Здесь и необходимо вернуться к поставленному выше вопросу об изотропности пространства.

Представляется интересным тот факт, что уже в такой инерциальной системе отсчета, где базисные тела двигаются с постоянными скоростями, но имеют различные относительные скорости, возникает кривизна пространства [11, с. 164]. Этот случай явно указывает, что кривизна не обязательно связана с наличием силового поля, а обусловлена некоторым распределением скоростей тел базиса системы отсчета! Один факт относительно движения нарушает мыслимую изотропность пространства, создает поле выделенных направлений, и это несколько не нарушает выводов специальной теории относительности. Кстати, факт движения частицы в специальной теории

относительности является абсолютным. Точнее абсолютный смысл имеет 4-вектор скорости. Относительными, зависящими от выбора системы отсчета являются лишь его компоненты. Каждая частица в момент своего рождения “получает” свой 4-вектор скорости и имеет его, пока она существует. Могут быть равными нулю пространственные компоненты 4-скорости ($V^k = 0$ в собственной системе отсчета), зато временной компонент $U^0 = 1$.

Реальное пространство всегда имеет выделенное направление и с необходимостью физические величины должны учитывать этот факт. Например, гравитирующее тело M уже самим фактом своего присутствия порождает выделенное векторное поле направлений, нарушая тем самым мыслимую изотропность абсолютно пустого пространства-времени. Показательно, что даже на бесконечном удалении от статического гравитирующего тела пространство-время V_4 не является псевдоевклидовым пространством E_4 . В действительности оно имеет более сложную структуру, которую можно символически описать формулой

$$V_4(r \rightarrow \infty) = E_4 + S', \quad (9)$$

где $S' = S'(x)$ — некоторое выделенное векторное поле. Хотя при $r \rightarrow \infty$ пространство-время локально изотропно в силовом смысле (риманов тензор кривизны обращается в нуль), тем не менее с точки зрения своей первичной геометрической структуры оно локально анизотропно согласно формуле (9).

В литературе по общей теории относительности неоднократно развивались теории, содержащие специальное векторное поле (см. обзор в [8]).

Такие структуры наиболее адекватно и красиво (!) описываются как раз в рамках финслеровой геометрии.

К необходимости использования аппарата теории финслеровых пространств в теоретической физике приводит, как нам представляется, рассмотренный выше анализ понятий системы отсчета и системы координат. Дополнительным (и существенным) здесь может оказаться критический анализ физических принципов теории тяготения Эйнштейна, где до сих пор имеется ряд сложностей как физического, так и философского порядка. Однако это выходит за рамки данной обзорной статьи. Здесь бы хотелось остановиться на ряде интуитивных и эврис-

тических соображений, которые также могут указывать на финслерову реальную структуру пространства-времени.

Как хорошо известно, в наиболее общем виде законы физики формулируются в рамках так называемого лагранжевого формализма, когда задается функция действия $S(x)$

$$S(x) = \int L(x, \dot{x}) dt. \quad (10)$$

Уравнения движения физической системы находятся из условия экстремальной функции действия. Здесь заметим, что функция Лагранжа $L(x, \dot{x})$, играющая фундаментальную роль в физике, является “естественным” финслеровым геометрическим объектом, а именно функция $L(x', \dot{x}')$ задает норму (или “длину”) вектора с компонентами x' , в касательном пространстве $T_n(x)$, опирающемся на точку с координатами x' (укажем также на то, что функция гамильтона $H(x', p')$ является нормой вектора с компонентами p' , принадлежащего так называемому дуальному касательному пространству $T'_n(x)$ (см. подробно [7, гл. VII]).

Учитывая последние обстоятельства, обобщение уравнений физики могло бы сразу развиваться в рамках финслеровой теории, которая помогает сразу преодолевать ряд трудностей, возникающих уже в классике.

Действие $S(x)$ есть всего лишь некоторая математическая конструкция, и число возможных конструкций такого рода неограниченно. Но действие должно описывать физический мир, который, как мы полагаем, устроен совершенно определенным образом. Следовательно, среди многих возможных должен существовать один специальный функционал действия, правильно описывающий то, что происходит на самом деле. Возникает вопрос: как отличить это единственное действие от других действий? Одна возможность дается теоремой Нётер [15, с. 14], указывающей на связь между симметриями системы и симметриями функционала.

Другую возможность дает теория так называемых однородных лагранжианов, развиваемых в рамках финслеровой геометрии. Как раз он дает наиболее прямой подход к механике релятивистской частицы. В релятивистской механике не существует выделенного параметра времени t , поэтому инвариантные вариационные принципы не могут формулироваться по образцу классической механики, в которой время t является

независимой переменной в интеграле действия. Следует отметить, что даже в случае одной релятивистской частицы собственное время как параметр принципиально ничем не выделено, так что все вариационные принципы целесообразно формулировать в терминах произвольного параметра.

Рассмотрим четырехмерное пространственно-временное многообразие V_4 с заданным на нем псевдоримановым метрическим тензором $a_{ij}(x)$.

Мировая линия частицы представляется кривой в V_4 :

$$x^i = x^i(\sigma), \quad (11)$$

где параметр σ определяется метрикой так, что

$$d\sigma^2 = a_{ij} dx^i dx^j \quad (12)$$

Параметр σ (с точностью до константы) в релятивистской механике имеет смысл собственного времени частицы, поэтому ковариантный вектор с компонентами

$$= \frac{dx^i}{d\sigma} \quad (13)$$

является четырехмерной скоростью частицы. Из (12) следует, что компоненты (13) не являются независимыми, а удовлетворяют соотношению

$$a_{ij} x^i x^j = 1. \quad (14)$$

Эта зависимость между компонентами и вызывает определенные трудности при попытке сформулировать вариационный принцип для движения частицы, отправляясь от лагранжиана $L(x^i, \dot{x}^i)$. Первая трудность проистекает из того, что эта функция будет сильно неоднозначной вследствие возможности умножения ее или отдельных входящих в нее членов на произвольные степени скаляра $(a_{ij} x^i x^j)^{1/2}$ без изменения соответствующего интеграла действия. Но такая процедура, как известно, серьезно влияет на результирующие уравнения Эйлера-Лагранжа.

Во-вторых, вариационное исчисление существенно основывается на предположении, что входящие в $L(x^i, \dot{x}^i)$ компо-

ненты скорости полностью независимы, что, очевидно, нарушается соотношением (14). Более того, в данном случае нельзя воспользоваться и методами так называемой задачи Лагранжа, поскольку они применимы к связям, ограничивающим направления аргументов x^i , а совершенно очевидно, что соотношение (14) не попадает в эту категорию.

Обе эти трудности немедленно исчезают, если потребовать, чтобы лагранжиан $L(x^i, \dot{x}^i)$ был однороден первой степени по скоростям. Это, во-первых, влечет за собой устранение описанной выше неоднозначности, поскольку умножение на величину типа $(a_{ij} \dot{x}^i \dot{x}^j)^{1/2}$ будет нарушать требуемую однородность. Во-вторых, как можно показать (см. [7, гл. 1]), интеграл действия от однородного лагранжиана инвариантен относительно произвольного преобразования параметра, следовательно, можно использовать произвольный параметр, представляя при этом мировую линию (11) в виде

$$\dot{x}^i = x'^i(\tau) \quad (15)$$

и полагая $x'^i = dx'^i / d\tau$. Эти компоненты не подчинены связям (14), в результате чего вторая трудность также исчезает. Именно эти причины, как подчеркивается Рундом [7, с. 347], мотивируют необходимость формулировать динамику релятивистских частиц с помощью однородных лагранжианов.

Финслеров подход позволяет красиво и непротиворечиво построить обобщенный формализм теории Гамильтона-Якоби и преодолеть ряд ее трудностей. Интересно, что уже на уровне классического рассмотрения здесь естественным образом возникает калибровочная инвариантность [7, с. 350], а именно, если векторный потенциал подвергается калибровочному преобразованию

$$A_i \rightarrow A'_i = A_i - \frac{\delta\lambda}{\delta x^i} \quad (16)$$

то для инвариантности уравнений Гамильтона-Якоби необходимо потребовать, чтобы калибровочное преобразование (16) сопровождалось соответствующим преобразованием функции $S(x^i)$

$$S \rightarrow S' = S - (e/c) \lambda. \quad (17)$$

(При переходе к квантовой механике функция $(\hbar S(x))$ приобретает роль — по крайней мере частично — фазы волновой функции $\psi(x)$, и поэтому (17) индуцирует преобразование ее вида

$$\psi \rightarrow \psi' = \psi \exp\left(-\frac{ie}{\hbar c} \lambda\right) \psi, \quad (18)$$

что обычно называется калибровочным преобразованием второго рода).

Интересно, что уже простое интуитивное, “наивное” рассмотрение указывает на то, что калибровочное поле связано с касательным расслоением. Действительно, в уравнение Гамильтона-Якоби входит обобщенный импульс

$$P_i = P_i + (e/c) A_i, \quad (19)$$

и калибровочное преобразование (16), для сохранения инвариантности, должно вызывать соответствующее изменение вектора P_i , что связано с некоторой группой движения касательного (точнее, в данном случае дуального касательного) пространства.

Как мы уже отмечали выше, калибровочное преобразование часто вводят чисто феноменологически, не пытаясь выяснять его физический смысл (указывая лишь, что инварианты внутренних симметрий обычно представляют собой разного типа заряды, характеризующие особенности взаимодействий физических объектов между собой). На физический смысл калибровочных симметрий и внутренних координат указывается в работах Н.П.Коноплевой [см., напр., 16]. “Физический смысл этих координат — параметризация многообразия приборов (систем отсчета). Локальные группы симметрии должны быть группами симметрии гамильтонианов в локально-геодезической системе отсчета, а вектор наинизшего состояния системы должен лежать на геодезической линии в базе.

Вектор-потенциалы калибровочных полей в геометрической теории играют роль коэффициентов связности главного расслоенного пространства V_4 . В сопутствующей системе отсчета они равны нулю. Для того, чтобы обнаружить калибровочное поле, как и в случае гравитации, нужно иметь по крайней

мере две частицы (или системы отсчета), движущиеся в этом поле. С экспериментом должно сопоставляться относительное поведение двух свободных частиц. Иными словами, для описания эксперимента необходимо изучать поведение решений уравнений калибровочного поля вблизи какого-либо выделенного решения этих же уравнений или вблизи другой опорной траектории, описывающей явно систему отсчета” [16, с. 135].

Таким образом, калибровочные теории требуют явного описания системы отсчета в аппарате физической теории, что адекватно описывается финслеровой геометрией.

В понятии системы отсчета фундаментальную роль играет инерциальная система отсчета. Как указывает Коноплева, «понятие инерциального движения тесно связано с выбором способа измерений. Оно должно служить теоретической моделью ситуации, когда выбранный для эксперимента прибор регистрирует отсутствие взаимодействия. Можно сказать, что в этом случае прибор находится в “основном состоянии” Траектории прибора, находящегося в основном состоянии, дают набор инерциальных траекторий, которые в теории выглядят как траектории группы пространственно-временной симметрии и определяют тем самым геометрию пространства-времени. Поэтому понятия инерциальной системы отсчета и инерциального движения должны вводиться в теорию так, чтобы полученные... траектории могли быть отождествлены с траекториями основного состояния или “нуля отсчета” прибора» [16, с. 136].

Локальная калибровочная теория учитывает конечные размеры прибора (или связанной с ним системы отсчета), т.е. тот факт, что симметрии (будь то пространственно-временные или “внутренние”) сохраняются в конечной области, не охватывающей все пространство. Для описания всего пространства необходимо иметь несколько или бесконечно много (в зависимости от ситуации) приборов. Связь между такими одинаково устроенными приборами устанавливается с помощью того или иного калибровочного поля.

Финслерова геометрия дает возможность непротиворечивого описания пробного тела. Современная физическая теория геометрически представляет собой теорию движения пробных тел. В то же время попытки найти физическую модель пробного тела часто сталкиваются с трудностями, так как основным свойством пробного тела является способность подвергаться

действию внешнего поля, не оказывая на него обратного воздействия. Эйнштейн считал, что “представления о чем-то.., что воздействует само, но на что нельзя воздействовать, противоречит присущему науке методу мышления” [20, с. 44]. Но и представление о чем-то, что подвергается действию извне, но не воздействует само, столь же противоречит научному методу мышления. Однако пробное тело, по определению, должно обладать именно таким свойством. Возможно ли это и при каких условиях?

При финслеровом подходе частица геометрически представляется двумя четырехмерными касательными векторами, а именно обычным вектором скорости U^i и (“внутренним”) собственным касательным вектором Y^i , т.е. геометрическим образом частицы в любой момент времени является линейный элемент (x, y) , а не просто точка x^i . Рассматривая сферически симметричную частицу μ с массой m_0 и собственным радиусом r_0 в статическом гравитационном поле, сферически симметричного тела с массой $M_0 \gg m_0$ и радиусом $R_0 \gg r_0$, введем величину

$$\epsilon(r) = \frac{m_0 R^2 \gamma}{M_0 r^2} \quad (20)$$

являющуюся отношением ускорений в собственных статических гравитационных полях тела M_0 и частицы m_0 относительно собственных статических координат) — отношение полной энергии частицы к ее энергии покоя $m_0 c^2$). R — расстояние от центра тела M_0 до частицы μ , r — расстояние от центра частицы до точки рассмотрения.

При $\epsilon \ll 1$ — частица пробная, а при $\epsilon \gg 1$ — непробная. Последний случай физической теории последовательно может быть развит лишь на основе финслеровой теории [8].

Необходимо отметить, что существующие экспериментальные факты не дают возможности ответить на вопрос, какова первичная структура пространства-времени — риманова или финслерова. Дело в том, что планеты, например, Солнечной системы являются пробными. Для движения частиц в ускорителях несмотря на то, что их скорости часто близки к скорости света, и, например, для ультрарелятивистских протонов на современных ускорителях $\gamma \cong 10^4$, все равно получаем для $\epsilon \approx 10^{-4}$.

Единственное исключение составляет аномалия спектра протонов космических лучей сверхвысоких энергий (см. [18]), γ — фактор для таких протонов может достигать $\gamma \approx 10^{10}$, что дает $\epsilon \approx 10^2$ для таких протонов около Земли. Эта аномалия спектра космических лучей сверхвысоких энергий находится в резком противоречии с результатами современной теории поля. Ввиду особенно высокого значения γ — фактора и раньше высказывалась мысль (см. [18]), что эта аномалия может быть проявлением метрических свойств иного типа, а именно финслеровых.

Существенным для финслерова подхода является тот факт, как уже отмечалось выше, что частица геометрически отображается не просто точной x' , а линейными элементами (x', y') , ($y' = x' = u'$), вектор y' принадлежит касательному риманову пространству.

Простое перенесение принципа римановой теории относительности приводит к требованию инвариантности по переменным y' относительно группы движений $G(x)$ касательного риманова пространства [8, с. 445]. Связь требования лоренц-инвариантности по переменным x и $G(x)$ — инвариантности по переменным y' приводит к тесной связи свойств симметрии сильных и электромагнитных взаимодействий с группой движений касательных римановых пространств. Такая инвариантность в финслеровой теории естественным образом формулируется на языке инвариантности так называемой индикатриссы (поверхности в $T_n(x)$, играющей роль единичной сферы, т.к. ее уравнение $F(x', x') = 1$).

В пренебрежении электромагнитным взаимодействием, разрушающим строгую изотопическую инвариантность, можно прийти к выводу [8, с. 445], что индикатрисса должна иметь нулевую риманову кривизну. Таким образом мы можем ответить на вопрос, поставленный в начале данной обзорной статьи: что такое “внутреннее” (здесь изотопическое) пространство с точки зрения касательного расслоения действительного пространства-времени?

Финслеров подход дает естественный ответ, а именно: изотопическое пространство является не чем иным, как индикатриссой финслеровой структуры пространства-времени.

В целом такой подход дает возможность единого геометрического описания различных калибровочных полей (в рассмотренном выше случае, например, гравитационное и сильное взаимодействие объединяются согласно формуле: риманова

метрическая структура + изотопическая инвариантность = финслерова метрическая структура с индикатриссой нулевой кривизны).

Развитие теории финслеровых пространств в аппарате теоретической физики представляется весьма интересным и актуальным, однако требует, в частности, своего философского обоснования. К тем соображениям, что высказывались выше, может быть добавлен так называемый “принцип взаимности”, сформулированный М. Бором еще в 1938 году. В соответствии с ним любой физический закон в x -пространстве имеет “инверсный образ” в импульсном p -пространстве. Этот принцип приводит к требованию введения нетривиальной метрики в p -пространстве, что опять непротиворечивым и единым образом может быть описано только финслеровой геометрией. Интересно, что этот принцип автоматически приводит к конечности элементарных частиц, к принципу квантования, указывает на физический смысл конечности планковского действия h и т.д. (см. [19, с. 122-126]), однако рассмотрение этого принципа выходит за пределы этой статьи и требует специального рассмотрения.

Литература

1. *Duff M.J., Nilson B.E.W., Pope C.N.* Kaluza-Klein supergravity // *Physics Reports*. 1986. 130. № 1. P. 1-142.
2. *Kikkawa K.* (ed.) *Gauge theory and gravitation*. Berlin: Springer, 1983.
3. *Коноплева Н.П., Попов В.Н.* Калибровочные поля. 2 изд. М., 1980. С. 239.
4. *Asanov G.S.* *Finsler Geometry, Relativity and Gauge Theories*. Dordrecht: D.Reidel, 1986.
5. *Визгин В.П.* Единые теории поля в первой трети XX века. М., 1985. С. 304.
6. *Сакураи Дж.* Теория сильных взаимодействий // Элементарные частицы и компенсирующие поля. М., 1964. С. 42-104.
7. *Рунд Х.* Дифференциальная геометрия финслеровых пространств. М., 1981. С. 504.
8. *Асанов Г.С.* О финслеровом обобщении теории относительности // Дополнение к книге: *Рунд Х.* Дифференциальная геометрия финслеровых пространств.

9. *Манин Ю.И.* Геометрические идеи в теории поля: (Вступит. ст., ред. пер. сб.: Геометрические идеи в физике. М., 1983). С. 5-18.
10. *Риман Б.* О гипотезах, лежащих в основаниях геометрии // Об основаниях геометрии. Казань, 1893. С. 67-82.
11. *Родичев В.И.* Нерешенные проблемы общей теории относительности // Эйнштейновский сборник, 1968. М., 1968.
12. *Родичев В.И.* Геометрические свойства систем отсчета // Эйнштейновский сборник, 1971. М., 1972.
13. *Родичев В.И.* Эволюция понятия системы отсчета и программа Эйнштейна // Эйнштейновский сборник, 1974. М. 1976.
14. *Фок В.А.* Физические принципы теории тяготения Эйнштейна // Эйнштейн и философские проблемы физики XX века. М., 1979. С. 257-267.
15. *Рамон П.* Теория поля. М., 1984.
16. *Коноплева Н.П.* Эйнштейн и современные геометрические теории взаимодействия // Исследования по истории физики и механики. 1985. М., 1985.
17. *Христиансен Г.Б., Куликов Г.В., Фокин Ю.А.* Космическое излучение сверхвысокой энергии. М., 1975.
18. *Киржниц Д.А., Чечин В.А.* Космические лучи сверхвысоких энергий и возможное обобщение релятивистской теории // Ядерная физика. 1972. 15. № 5. С. 1031-1059.
19. *Борн М.* Размышления и воспоминания физика. М., 1977 С. 122-126.
20. *Эйнштейн А.* Сущность теории относительности // *Эйнштейн А.* Собр. науч. тр М. 1966. Т. 2.

Содержание

| | |
|---|-----------|
| Предисловие | 4 |
| <i>Г. Б. Жданов</i> | |
| Современная физика: динамика последних десятилетий | 5 |
| <i>В. С. Степин</i> | |
| Методология построения теории в неклассической физике |24 |
| <i>Р. М. Нусеев</i> | |
| Классика, модерн и постмодерн как этапы синтеза физических теорий | 43 |
| <i>И. А. Акмуриш</i> | |
| Новые экспериментальные и теоретические основания современных поисков единства научного знания | 58 |
| <i>И. Ф. Овчиннико</i> | |
| Частицы и Космос (к проблеме начала) | 79 |
| <i>Ю. В. Сачко</i> | |
| Вероятность, случайность, независимость | 99 |
| <i>А. А. Печенин</i> | |
| Статистическая интерпретация квантовой теории: статистическая полнота и статистическая нелокальность. | 118 |
| <i>С. Н. Жаров</i> | |
| Калибровочные преобразования и избыточное содержание физической теории | 138 |
| <i>А. Ю. Севальников</i> | |
| О методах финслеровой геометрии в теоретической физике: опыт методологического анализа | 158 |

Научное издание

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КЛАССИЧЕСКОЙ И НЕКЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ: СОВРЕМЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

*Утверждено к печати Ученым советом
Института философии РАН*

В авторской редакции

Художник *В. К. Кузнецов*

Технический редактор *Н. Б. Ларионова*

Корректоры: *Е. В. Захарова, Т. М. Романова*

Лицензия ЛР № 020831 от 12.10.93 г.

Подписано в печать с оригинал-макета 18.06.98.

Формат 60x84 1/16. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл.печ.л. 11,25. Уч.-изд.л. 09,30. Тираж 500 экз. Заказ № 029.

Оригинал-макет изготовлен в Институте философии РАН

Компьютерный набор: *Т. В. Прохорова*

Компьютерная верстка: *Н. Б. Ларионова*

Отпечатано в ЦОП Института философии РАН

119842, Москва, Волхонка, 14