

А. Ю. Севальников

ИНТЕРПРЕТАЦИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

В ПОИСКАХ
НОВОЙ
ОНТОЛОГИИ



URSS

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт философии

А. Ю. Севальников

**ИНТЕРПРЕТАЦИИ
КВАНТОВОЙ
МЕХАНИКИ**

**В поисках
новой онтологии**

28



**URSS
МОСКВА**

Севальников Андрей Юрьевич

Интерпретации квантовой механики: В поисках новой онтологии. —
М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 192 с.

Настоящая монография посвящена актуальной проблеме современного физического познания — интерпретации квантовой механики. В работе на основе детального анализа основных положений квантовой теории, а также в соответствии с идеями А. Эйнштейна, Луи де Бройля, В. Гейзенберга и др., *развивается мысль, что физика микромира требует пересмотра классических онтологических воззрений, восходящих к Декарту. Показано, что требуется отказ от классической идеи субстанциальности — идеи независимого существования объектов, что, в свою очередь, требует перехода к многомодусной картине бытия, или к идее полионтичной реальности. Главное в такой модели, как утверждается, является существование иного онтологического модуса бытия, отличного от бытия актуального, наличного.*

На основе анализа квантовой механики показано, что квантовые объекты существуют на двух модусах бытия — потенциальном и актуальном. Результаты опытов по проверке неравенства Белла позволяют утверждать о существовании квантовых объектов на «дофеноменальном», трансцендентном уровне бытия, с чем, собственно, и связана специфика их существования.

Рассматриваются также традиционные вопросы квантовой механики — проблема участия наблюдателя, проблема объективности, парадоксы теории и т. д.


Книга представляет интерес для физиков, философов, а также для всех, кого волнуют вопросы современного естествознания.

Издательство «Книжный дом “ЛИБРОКОМ”».
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 9.
Формат 60×90/16. Печ. л. 12. Зак. № 2479.

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

ISBN 978-5-397-00727-6

© Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА	
	E-mail: URSS@URSS.ru
	Каталог изданий в Интернете:
	http://URSS.ru
	Тел./факс: 7 (499) 135-42-16
URSS	Тел./факс: 7 (499) 135-42-46

7061 ID 95613



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

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
ГЛАВА I	
Основные особенности квантовой механики	12
§ 1. Понятия вероятности и суперпозиции состояний	13
§ 2. Теория измерений	19
§ 3. «Зависимость от иного» и целостность квантового явления	24
§ 4. Динамизм квантовых явлений	29
§ 5. Принцип взаимности	31
ГЛАВА II	
Квантовая механика и понятие реальности	39
§ 1. ЭПР-парадокс	39
§ 2. Анализ EPR-парадокса	44
§ 3. Неравенство Белла	50
§ 4. Корреляционные эксперименты	56
§ 5. Многофотонные эксперименты	64
ГЛАВА III	
Интерпретации квантовой механики	68
§ 1. Основные трактовки квантовой теории	69
§ 2. Сознание и квантовая реальность	76
§ 3. Теория измерений и многомировая интерпретация	82
ГЛАВА IV	
Теоретические и философские основания квантово-механической онтологии	88
§ 1. Философские основания классической онтологии	88
§ 2. Идея субстанциальности	91

§ 3. Основные понятия квантовой онтологии и метафизика Аристотеля.	97
§ 4. Триадная онтологическая модель реальности	103
§ 5. Обобщение модели полионтической реальности	117
ГЛАВА V	
Квантовые явления как отражение эффектов полионтической парадигмы	120
§ 1. Понятие «бытие в возможности» и интерпретация квантовой механики.....	120
§ 2. Теория измерений в полионтической парадигме	129
§ 3. Проблема целостности и нелокальности.....	132
§ 4. Соотношения с другими трактовками	134
§ 5. К вопросу парадоксов квантовой теории.....	136
§ 6. Квант и время.....	139
§ 7. Теория относительности и квантовая механика	146
§ 8. Принципы дополнительности и взаимности	151
§ 9. Калибровочные поля и теория вакуума в полионтической парадигме	154
ГЛАВА VI	
Бинарная геометрофизика в рамках полионтической парадигмы	161
§ 1. Квантовая механика и бинарная геометрофизика.....	161
§ 2. Интерпретация КМ Ю. С. Владимирова и родственные ей трактовки	168
§ 3. Бинарная геометрофизика и модель полионтической реальности	171
Заключение	180
Литература.....	183

ВВЕДЕНИЕ

Утверждение о том, что современная физика напрямую выводит к первичным, метафизическим вопросам, стало весьма распространенным. Достаточно назвать такие имена современных физиков, как Бернар Д'Эспанья, Абнер Шимони, Дж. Хорган, из физиков старшего поколения — Эйнштейна, Нильса Бора и Вернера Гейзенберга, чтобы убедиться, что за такой постановкой вопроса стоит нечто серьезное. В некотором смысле слова такое утверждение стало обыденным, однако со стороны собственно философии оно пока еще мало подвергалось анализу. Более того, с точки зрения философии оно может показаться в определенной степени странным и противоречивым. Ведь сам подход философа к чувственно постигаемому миру отличается от подхода ученого-естественника. Категории и понятия философии, философская интуиция и характерное для ученого эмпирическое наблюдение, с выражением его в терминах абстрактной математической теории, — два разных пути в осмыслении бытия мира. Если философия занимается миром как *сущим*, как составной частью порядка бытия, то эмпирическая наука не пользуется понятием *бытия* как такового. «Бытие» — понятие, чуждое строгому эмпирическому анализу. Ведь когда речь идет о бытии, то рассматривается бытие как целое, целокупный порядок бытия, а не какая-то его составная часть или одна из его плоскостей. Рассматривается, говоря языком русской философии, всеединство бытия, порядок бытия во всей его динамике. Вопросами онтологии всегда были следующие: Что является причиной бытия? Какой смысл имеют бытие и существование? Какими существенными чертами отличается существование или сущее? Онтология, занимаясь такими вопросами, подразумевает бытие не только в его началах, но и в конечных целях, рассматривает, иначе говоря, бытие по отношению к причинности. Понятно, что ответы на такие вопросы не в компетенции эмпирической науки: ей чуждо истинное метафизическое «схватывание». Наука смотрит на бытие «извне», не на бытие как таковое, а на «отражение» бытия в формализме его «физикальности». В то время как естественные науки удовлетворяются тем, что остается на физической, эмпирической плоскости, философия отправляется от начальной оценки природы к проникновению в бытие и схватыванию существования путем вопрошания о смысле природы для самого человека.

Ясно, что при таких походах остается существенное различие между естественными науками и философией. Однако как раз здесь в XX в. наметилось интересное сближение. Отметим, прежде всего, появление *антропного принципа* в космологии, прямо поставившего вопрос о смысле существования космоса для человека. И если для космологии, всегда являвшейся как бы «переходным мостиком» между философией и физикой, такая постановка вопроса не является столь уж неожиданной, то и сама физика, как можно показать, отмечена появлением вопросов, напрямую касающихся онтологической проблематики.

Сразу отметим, что если вводить различие между *бытием* и *сущим*, то эти вопросы касаются, прежде всего, способов бытия сущего. Физика, а именно квантовая механика, напрямую задалась вопросом: каким образом существуют объекты? Был поставлен вопрос не о фундаментальных объектах, из которых предполагались построенными все другие объекты (хотя этой проблеме и уделяется немалая степень внимания), и не об их типологии и об общих закономерностях их взаимодействия, а именно способах бытия сущего.

Вообще говоря, уже с такой постановкой вопроса была связана самая первая — копенгагенская — трактовка квантовой механики. Именно она, хотя и достаточно своеобразным образом, отразила такие свойства атомных объектов, как корпускулярно-волновой дуализм, принципы дополнительности и неопределенности, в которых явственно проступили их новые свойства, столь резко контрастирующие с поведением классических тел. Столкнувшись с необычными свойствами квантовых объектов и верно констатировав тот факт, что о результатах тех или иных измерений, произведенных над ними, можно сообщить только на языке классической физики, копенгагенская школа стала утверждать, что мы можем знать с определенностью как «реальные» *только результаты этих измерений*. По этой трактовке в сфере применимости квантовой механики нельзя задавать вопросы о том, что представляет собой, например, электрон, когда фактически не производится его наблюдение с помощью экспериментальной установки того или иного типа (выявляющей либо корпускулярные, либо волновые его свойства). Утверждалось, что квантово-механические предсказания относятся лишь к ситуациям фактического наблюдения.

Верно схватывая основные особенности *проявления* квантовых объектов, такая трактовка квантовой механики, тем не менее, может быть названа «запретительной». Она явным образом запрещает ставить вопрос о том, что есть квантовый объект вне тех или иных условий его наблюдения. Однако физика в конечном итоге всегда интересуется вопросом, «а что есть реальность сама по себе?». Какой бы проблематичной с точки зрения современной философии ни выглядела такая постановка вопроса, она в конечном итоге является лишь возвращением к тому, что еще Аристотель полагал непрестанной заботой философов: к вопросу о том, *что есть сущее*.

На этот вопрос пытаются ответить, пожалуй, все интерпретации квантовой механики, спорящие в конечном итоге о том, что есть реальность.

Вопрос о реальности есть вопрос об онтологии. Реальность как понятие употребляется всегда в достаточно широком смысле. Это и все существующее вообще, и объективный мир, и действительность как таковая. Онтология же рассматривает бытие как таковое, изучает фундаментальные принципы бытия, наиболее общие сущности и категории сущего. Рассматривая *сущее* как предметно-чувственный мир, как реальность, в специфическом смысле этого слова, мы и обращаемся тем самым к онтологической проблематике. Таким образом, дискуссии, развернувшиеся вокруг понимания реальности в квантовой механике и не утихнувшие до сих пор, относятся к вопросам онтологии. *Соответственно, вопросы онтологии, того или иного понимания сущего и способов его бытия и являются центральными в данной работе.*

О неразрывности онтологических представлений с физической теорией, реконструирующей реальность, говорит и современный философ науки Цао. Он останавливается на этом вопросе в целом ряде своих работ. «...Онтология является неустранимым концептуальным элементом в логической реконструкции реальности. Так как онтология дает картину мира, она дает основание, на которой может базироваться теория. Это помогает объяснить ее конститутивную роль в теоретической структуре науки...» [Сао, 1997. Р. 10].

«Базисная онтология теории рассматривается как несводимый концептуальный элемент в логической реконструкции реальности в рамках этой теории. В противовес видимости или эпифеноменам, а также в отличие от просто эвристических или конвенциональных средств теории базисная онтология касается реального существования... В качестве репрезентации глубокой реальности онтология теории обладает большой объясняющей силой: все явления и феномены, описываемые теорией, могут быть выведены из нее как результат ее поведения» [Сао, 1999. Р. 10].

Мы будем стремиться обосновать положение, согласно которому при переходе к квантовым принципам описания реальности действительно меняются, и весьма радикально, онтологические представления, т. е. представления о способе существования объектов. В противовес декартовской идее *субстанциальности*, конститутивным моментом которой является понятие *независимости от другого*, «ненуждаемости» в нем¹ (Хайдеггер), квантовая механика вынуждает обращаться к онтологическим воззрениям, которые во многом противоположны декартовским представлениям. Одним из наиболее адекватных языков оказывается здесь язык аристотелевской метафизики, а именно его концепция «бытия в возможности».

¹ Декарт, напомним, определял субстанцию как вещь, которая существует, не нуждаясь в своём бытии в другой вещи.

Впервые о возможности такой онтологии заговорил Вернер Гейзенберг, стоявший, наряду с Бором, у истоков копенгагенской трактовки квантовой теории. Гейзенберг фактически был единственным теоретиком из копенгагенской школы, пытавшимся понять, что же все-таки стоит за квантовым явлением, *что оно есть в своей сущности*. Его рассуждения приводили к выводу о необходимости построения новой квантовой онтологии. Он справедливо отмечал, что в квантовой механике мы сталкиваемся не просто с удобным формализмом, неким правилом, адекватно описывающим, вообще говоря, неизвестную нам ситуацию, а с формализмом, действительно отображающим реальное положение дел, и где «...модифицированная логика квантовой теории неизбежно влечет за собой модификацию онтологии» [Гейзенберг, 1987. С. 222].

Существенный момент такой онтологии связан с Боровским принципом дополнительности и следующим из него изменением понимания реальности, против чего неизменно выступал Эйнштейн. Парадоксально, но создается впечатление, что, как критик квантовой теории, Эйнштейн в то время ясно видел и осознавал, к каким изменениям она приводит при понимании реальности. Другое дело, что он не принимал такого рода изменений, и отсутствие аргументов против теории квантов беспокоило его до конца жизни. Так, физик Пайс (A. Pais) вспоминал: «Мы часто обсуждали его мнение насчёт объективной реальности. Мне помнится, как однажды во время прогулки Эйнштейн неожиданно остановился, повернулся ко мне и спросил, действительно ли я считаю, что луна существует лишь тогда, когда я на неё смотрю»¹. В заостренной форме этот вопрос Эйнштейна всего лишь демонстрирует принцип дополнительности Бора, заключающийся в том, что те или иные свойства квантового объекта проявляются в зависимости от способа проведения эксперимента.

Полвека назад, когда закончилась знаменитая полемика Бора и Эйнштейна по этому вопросу, еще не были проведены решающие эксперименты, позволившие бы ответить, чья точка зрения верна. Ситуация радикально изменилась в последние годы, когда такие эксперименты были проведены. В одной фразе сегодняшнюю ситуацию как нельзя лучше демонстрирует «основной урок квантовой механики» по Уилеру: «Никакой элементарный феномен не является феноменом, пока он не является наблюдаемым (регистрируемым) феноменом». Именно к такому выводу приводит и точный анализ результатов корреляционных экспериментов по проверке неравенств Белла, который гласит (подробнее см. ниже), что мы должны отказаться от предположения о «существовании совместных распределений плотностей вероятности наблюдаемых величин». Столь, казалось бы, замысловатая фраза отсылает нас на самом деле к выводу, данному еще в 1935 г. Эйнштейном, Подольским и Розеном, что если квантовая механика полна и операторы,

¹ *Reviews of Modern Physics*. LI. 863 (1979) 907.

соответствующие двум физическим величинам, не коммутируют, эти величины не могут быть одновременно реальными. Говоря другим языком, в эксперименте выявляется то, что определенным образом до самого акта измерения не существует! Отсюда совершенно ясно, что представления о реальности, наши онтологические представления не могут не пересматриваться.

Как уже говорилось выше, многочисленные эксперименты и их аккуратная интерпретация позволяют достаточно уверенно выстроить такую сетку понятий, в рамках которой дается возможность непротиворечиво описать контуры нового понимания реальности.

Чтобы решить поставленную задачу, в первой главе работы будут вычленены основные особенности квантово-механической описания реальности, выявлены те точки, в которых они вступают в противоречие с классическим способом описания физических явлений.

Будет показано, что эти особенности приводят к такой модификации онтологических представлений, которая может быть истолкована как решительный разрыв между классической и неклассической физикой. Основной тезис, который мы собираемся обосновывать в нашей работе, заключается в том, что этот разрыв состоит не в отказе от декартовского разделения между субъектом и объектом познания¹, как часто утверждается, а в отказе от другого аспекта онтологических представлений — от декартовской идеи субстанциальности.

Особенности квантовой механики, выделенные в первой главе, еще не дают увидеть, как они сами по себе изменяют наши понятия о реальности. Для большинства физиков осознание того факта, что квантовая механика требует радикального пересмотра понятия реальности, пришло далеко не сразу. Решающую роль в этом сыграл знаменитый ЭПР-парадокс и связанные с ним эксперименты. Вторая глава работы и посвящена этой теме. Мы покажем, как исторически развертывалась полемика о квантовой реальности от первых дискуссий вокруг EPR-парадокса до сегодняшних дней.

Дискуссии разворачивались в рамках тех или иных интерпретаций квантовой механики; эти интерпретации рассмотрены в третьей главе. На наш взгляд, существующая экспериментальная база позволяет среди множества трактовок выделить из них те, что никак не противоречат эксперименту. С критических позиций проанализированы интерпретации, имеющие явно «спекулятивный» характер и не поддающиеся прямой экспериментальной проверке. К ним относятся интерпретации с участием сознания и т. н. многомировая интерпретации, активно обсуждаемые в современной литературе. Вычленяется наиболее адекватная трактовка квантовой механики, восходящая к идеям Гейзенберга и Фока.

¹ На наш взгляд, более правильным было бы утверждение, что проблема взаимоотношения субъекта и объекта вообще находится «по ту сторону» проблем квантовой механики. Квантовая механика решает просто совсем иные задачи (см. ниже).

Именно их подход к трактовке квантовой реальности позволяет раскрыть философские и теоретические основания квантово-механической онтологии и показать, в чем состоит ее отличие от онтологических представлений классической физики. В связи с этим в четвертой главе подробно рассматривается декартовское истолкование *субстанции* и *субстанциальности* и противоположное ему аристотелевское понимание бытия, к которому, по мнению Гейзенберга, и возвращает квантовая механика. В этой же главе сформулированы основные онтологические допущения, которые могут служить наиболее адекватной основой для теоретической реконструкции квантово-механической реальности.

В пятой главе мы попытаемся показать, что предложенные онтологические представления дают в принципе возможность разрешить некоторые трудности и парадоксы квантовой теории, с которыми «не справляются» другие интерпретации. Подробно обсуждаются теория измерений, эффекты целостности и нелокальности квантового явления в ЭПР-парадоксе, ряд парадоксов квантовой механики, которые, как представляется, находят адекватную интерпретацию в предложенном подходе. Показано также, что трактовка, развиваемая в данной работе, ведет к особому пониманию времени в квантовой механике, что хорошо известно в теоретической физике. Утверждается, что выделенная роль времени в квантовой механике является не недостатком теории, а связана с двухмодусной картиной реальности и существенной динамичностью мира феноменального. С этой же двухмодусностью связан и принцип взаимности, известный в физике как форма особой симметрии между координатами и импульсами. Показано, что с точки зрения философии он тесно связан с принципом аналогии бытия, согласно которому законы сущего на одном модусе бытия дублируют, а точнее, отображают законы сущего на другом модусе бытия, и наоборот.

В работе делается вывод, что существующий аппарат квантовой механики, «угаданный» творцами его математического формализма, является во многом феноменологическим, и поэтому ставится вопрос о построении более общей концептуальной схемы. В качестве одной из возможных теорий такого рода рассматривается подход бинарной геометрофизики Ю. С. Владимирова. В рамках данной теории получают подтверждение как основные философские выводы данной работы (многомодусность бытия, выделенность времени, особая роль принципа взаимности и др.), а также диктуется возможность несколько иного подхода к описанию действительности — возможность дискурса совершенно нового типа, а именно «глагольного», логосного дискурса, где время играет выделенную роль.

В заключение хотелось бы выразить глубокую благодарность моим многочисленным коллегам, участвовавшим в дискуссиях по затронутым в книге вопросам, и прежде всего — Елене Аркадьевне Мамчур, без чьего заинтересованного участия эта книга просто не появилась бы на свет. Также отмечу многолетнюю поддержку моих коллег Ю. В. Сачкова, В. В. Казю-

тинского и С. Н. Коняева. Искренняя признательность — Ю. С. Владимирову, принимавшему живое участие в обсуждении основных идей данной работы.

Не могу не выразить благодарности моим коллегам И. А. Акчурину, Л. Б. Баженову, Ю. Б. Молчанову, Р. О. Курбанову и С. В. Илларионову. К сожалению, их уже нет с нами, но без их полезных и стимулирующих замечаний эта книга не приняла бы того вида, в котором она выносится на суд читателей.

Хотелось бы поблагодарить также и кандидата филологических наук М. В. Кузичеву, которая взяла на себя труд корректора текста данной книги.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Для того чтобы ввести систему понятий, позволяющих построить квантово-теоретическую онтологию, необходимо выделить основные аспекты квантово-механического описания реальности. В связи с этим в настоящей главе мы рассмотрим основные аспекты квантовой механики, те ее основные черты, которые резко отличают ее от классических представлений. Предварительно мы выделяем четыре таких тесно связанных друг с другом особенности этой теории:

- 1) особенности, порождаемые квантово-механическим принципом суперпозиции состояний и вероятностным способом описания явлений;
- 2) зависимость микрофизического явления от условий его наблюдения, «зависимость от иного»;
- 3) целостность, несепарабельность (нелокальность) квантового явления;
- 4) динамический, существенно «событийный, процессуальный» характер протекания квантовых явлений.

Мы не включаем сюда такие часто обсуждаемые специфические черты квантовой теории, как индетерминизм, ненаблюдаемость и др., так как все они вытекают из уже отмеченных выше принципов.

Замечательным образом новую, квантотеоретическую онтологию можно было бы строить, отталкиваясь от любого из перечисленных аспектов. Однако, забегаю несколько вперед, отметим, что нам будет удобно исходить из третьего принципа, «зависимости от иного», так как он формальным образом как раз и приводит к понятию, противоположному идее субстанциальности, — понятию *dynamis*, бытию в возможности, на необходимость использования которого указывал еще В. Гейзенберг (см., напр., [Гейзенберг, 1987. С. 223]).

Рассмотрим указанные особенности квантово-механического описания реальности в том порядке, в котором они перечислены. Следует отметить, что выделенные аспекты хорошо известны и ранее рассматривались другими авторами. В связи с этим мы не будем подробно на них останавливаться и очертим их лишь вкратце.

В качестве первого момента укажем на понятие вероятности и принцип суперпозиции состояний. Эти два аспекта мы рассматриваем в единстве, т. к. они тесным образом связаны с категорией возможности.

§ 1. Понятия вероятности и суперпозиции состояний

Первой фундаментальной физической теорией, охватывающей громадный круг явлений, была классическая механика, построение которой было завершено во второй половине XVIII в. Фундаментальность, всеобщность этой теории и в то же время простота лежащих в ее основе принципов производили на современников такое впечатление, что Ньютона называли новым Моисеем, начертавшим на скрижалях новые законы — законы природы.

Одним из основополагающих принципов классической механики являлась концепция механической причинности, отлившейся впоследствии в форму лапласовского детерминизма: «Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался бы достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел вселенной наравне с движениями атомов: не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверным, и будущее, так же как и прошедшее, представило бы перед его взором» [Лаплас, 1908. С. 9].

Не только как научная, но и как философская концепция идея причинности относится к числу наиболее фундаментальных представлений человеческого интеллекта. Видимо, нельзя считать полностью случайным, что от основателя атомизма Левкиппа до нас дошла всего одна фраза: «Все происходит на каком-то основании и в силу необходимости».

Идея причинности и детерминизма была доминирующей вплоть до начала XX в., но еще в эпоху ее безраздельного господства в физике стали зарождаться и другие идеи. «Решительный шаг вперед был сделан в 1859 г. Максвеллом, который впервые ввел в физику понятие вероятности, выработанное ранее математиками при анализе азартных игр. В дальнейшем это понятие стало основным для любого статистического закона» [Мякишев, 1973. С. 35].

Первоначально основание введения вероятностных методов в физику видели лишь в неполноте наших знаний. Предполагалось, что там, где ис-

следуемые процессы сложны и где мы не в состоянии проследить связь всех причин или же их просто не знаем, мы обращаемся к помощи вероятностных методов. Понятие детерминизма оставалось фундаментальным. Гольбах писал, например: «Ничто 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» [Гольбах, 1963. С. 649]. Ранее в вероятностных методах описания виделся временный, неполноценный и второстепенный характер.

Явная недостаточность такого подхода стала выявляться уже в связи с работами Больцмана в области кинетической теории. Однако поворотным пунктом на пути введения «в недра» физики понятия вероятности и связанного с ним понятия возможности стало, конечно же, создание в 20-х гг. квантовой механики. Именно она совершенно по-новому поставила ряд методологических проблем познания, и среди них — вопрос о природе вероятностных методов, о природе «возможного».

Решающим моментом здесь оказались соотношения неопределенностей В. Гейзенберга и вероятностная трактовка волновой функции, предложенная М. Борном.

Если принцип неопределенности указывал на необходимость отказа от классических понятий пути движения, траектории и механического детерминизма, то борновская интерпретация волновой функции вводила понятие вероятности и возможности в самую ткань физической теории.

Как хорошо известно, основным уравнением нерелятивистской квантовой теории является уравнение Шредингера для волновой функции $\psi(r, t)$. Оно позволяет в принципе однозначно определить волновую функцию в любой момент времени, если известно ее значение в начальный момент. Однако какой физический смысл имеет сама волновая функция? Ответ в 1928 г. был дан М. Борном. Опираясь на ранние работы Эйнштейна по теории фотонов, Борн показал, что волновая функция задает вероятность обнаружения частицы $dW = \psi(r, t)\psi^*(r, t)dV$ в данном объеме пространства dV . Таким образом, оказалось, что квантовая механика позволяет определять не сами координаты, а лишь вероятность того, что координаты частицы лежат внутри определенного интервала. Было показано вскоре, что волновая функция позволяет найти вероятность не только координаты, но и любой физической величины (импульса, энергии и т. д.).

Самым поразительным оказалось то, что в квантовой механике вероятностные методы используются для познания свойств и закономерностей индивидуальных, отдельных квантовых частиц — микрообъектов и не связаны с наличием огромного числа частиц. Характерный пример ситуации

дают, например, эксперименты по рассеянию частиц [Холево, 1980. С. 10]. В подобных экспериментах невозможно предсказать, в каком направлении рассеется данная частица, — можно лишь говорить о вероятности рассеяния в том или ином направлении. Совершенно аналогично, можно говорить только о вероятности попадания частиц на экран в то или иное место при рассеянии.

Условимся обозначать посредством q — совокупность координат квантовой системы, а посредством dq — произведение дифференциалов этих координат (т. н. элемент объема конфигурационного пространства системы); для одной частицы dq совпадает с элементом объема dV обычного пространства.

Основу математического аппарата квантовой механики составляет утверждение, что состояние системы может быть описано определенной (вообще говоря, комплексной) функцией координат $\psi(q)$, причем квадрат модуля этой функции определяет распределение вероятностей значений координат: $|\psi|^2 dq$ есть вероятность того, что произведенное над системой измерение обнаружит значения координат в элементе dq конфигурационного пространства. Функция ψ называется волновой функцией системы (см., например, [Ландау, Лившиц, 1974. С. 19]).

Основополагающее положение квантовой механики — это утверждение относительно свойств волновой функции. Оно заключается в следующем. Пусть в состоянии с волновой функцией $\psi_1(q)$ некоторое измерение приводит с достоверностью к определенному результату 1, а в состоянии $\psi_2(q)$ — к результату 2. Тогда принимается, что всякая линейная комбинация 1 и 2, т. е. всякая функция вида $c_1\psi_1 + c_2\psi_2$ (где c_1 и c_2 — постоянные), описывает состояние, в котором то же измерение дает либо результат 1, либо результат 2. Кроме того, можно утверждать, что если нам известна зависимость состояний от времени, которая для одного случая дается функцией $\psi_1(q, t)$, а для другого — $\psi_2(q, t)$, то любая их линейная комбинация также дает возможную зависимость состояний от времени.

Рассмотрим некоторую физическую величину f , характеризующую состояние квантовой системы. В общем случае она может принимать ряд либо дискретных, либо непрерывных значений. Значения, которые может принимать данная физическая величина, называются ее собственными значениями f_n . Обозначим волновую функцию системы в состоянии, в котором величина f имеет значение f_n , посредством ψ_n . Волновые функции ψ_n называются собственными функциями данной физической величины f . Измерение, произведенное над системой, находящейся в произвольном состоянии с волновой функцией Ψ , даст в результате одно из собственных значений f_n . В соответствии с принципом суперпозиции можно утверждать, что волновая функция должна представлять собой линейную комбинацию тех из собственных функций ψ_n , которые соответствуют значениям f_n , мо-

гущим быть обнаруженными с отличной от нуля вероятностью при измерении, произведенном над системой в рассматриваемом состоянии. Поэтому в общем случае произвольного состояния функция ψ может быть представлена в виде ряда

$$\Psi = \sum a_n \psi_n, \quad (1.1)$$

где суммирование производится по всем n , а a_n — некоторые постоянные коэффициенты.

Разложение (1.1) дает возможность путем измерения определить вероятность обнаружения у системы в состоянии с волновой функцией ψ того или иного значения f_n величины f . Сумма вероятностей всех возможных значений f_n должна быть равна единице; другими словами, должно иметь место соотношение

$$\sum |a_n|^2 = 1, \quad (1.2)$$

где суммирование выполняется по всем n .

Таково краткое (и несколько упрощенное) изложение основного принципа квантовой механики — принципа суперпозиции состояний.

Тот глубокий философский смысл, который таится за внешне простой математической формулировкой, остается еще не вполне проясненным. Слишком много необычного и странного преподносит он классическому, «здравому» рассудку. Во-первых, волновая функция описывает не сам процесс, а вероятность (точнее — амплитуду вероятности) того или иного процесса. Часто, особенно в начальную пору возникновения квантовой механики, в этом усматривалась ее «неполнота», и утверждалось, что необходимо искать более глубокую теорию, дающую более детальное и точное описание процессов.

Во-вторых, принцип суперпозиции утверждает (и это является, на наш взгляд, наиболее существенным в нем), что квантовый объект до измерения находится в необычном, «размазанном», «суперпонируванном» состоянии, — точнее говоря, он находится во всех допустимых состояниях сразу.

Квантовые состояния микрочастиц не просто «сосуществуют», но и взаимодействуют, интерферируют, давая при этом замечательные и совершенно необычные для классической физики результаты.

Демонстрацией того, что принцип суперпозиции отражает глубокие внутренние объективные процессы и не связан лишь с удобством описания, могут служить особенности распада так называемого K^0 -мезона. Не останавливаясь на деталях, отметим здесь, что в этих экспериментах является интерференция состояний частицы, своеобразные интерференционные «биения». «Если и существует какое-то место, где есть шанс проверить главные принципы квантовой механики самым прямым обра-

зом — бывает ли суперпозиция амплитуд или не бывает, то оно именно здесь», — писал Р. Фейнман [Фейнман, 1978. Т. 9. С. 237]. K^0 -мезон не просто распадается, «а продельывает нечто совсем иное. Временами он распадается, а порой превращается в частицу другого сорта. Характеристическая вероятность этого эффекта по мере ее движения меняется очень странно. Ничего другого, похожего на это, в природе нет» [Там же. С. 236–237].

Этот эксперимент убедительно демонстрирует суперпозицию, «накладывание» квантово-механических состояний, их одновременное «существование» и взаимодействие (подробнее см. [Фейнман, Op. cit], [Пахомов, 1990; 1995]).

Необычность принципа суперпозиции наглядно может быть проиллюстрирована примером, рассматриваемым В. Гейзенбергом в статье «Язык и реальность в современной физике». Некая микрочастица — пусть это будет, например, атом — находится в ящике, разделенном пополам перегородкой и имеющем небольшое отверстие. «Допустим, мы наблюдаем свет, рассеянный атомом, и проводим три испытания. В первом опыте атом заключен в левой половине ящика (отверстие в перегородке закрыто), и мы измеряем распределение интенсивности рассеянного света. Во втором опыте атом заключен в правой половине ящика и снова изучается рассеянный свет. В третьем опыте мы опять-таки исследуем распределение интенсивности рассеянного света при условии, что атом может свободно перемещаться из одной половины ящика в другую. И вот, если бы атом находился всегда либо в левой, либо в правой половине ящика, распределение интенсивности в третьем опыте необходимо складывалось бы из наложения соответствующих распределений первого и второго опытов, а общая картина определялась бы только временем, которое атом проводит в одной из половин. Эксперименты, однако, показывают, что это, вообще говоря, неверно. Реальное распределение интенсивности... оказывается иным в силу так называемой интерференции вероятностей» [Гейзенберг, 1987. С. 221].

В ситуации, когда частица находится в таком «суперпонированном» состоянии, мы сталкиваемся фактически с нарушением логического принципа *tertium non datur*. Именно на этот аспект еще в 30-е гг. указывали Г. Биркгоф, фон Нейман, а позднее К.-Ф. фон Вайцзеккер. Здесь речь идет о принципе, согласно которому либо утверждение некоего высказывания, либо его отрицание должно быть верным. Например, из двух высказываний — «Здесь есть книга» и «Здесь нет книги» — одно обязательно должно быть верным, а другое ложным, — третьего не дано: *tertium non datur*. В новой, квантовой логике, «вместо этой аксиомы выдвигается, согласно Вайцзеккеру, следующий постулат: в случае простой альтернативы отмеченного типа высказыванию приписывается определенная истинность, ко-

тору можно охарактеризовать двумя комплексными числами... Эти числа позволяют образовать третье, именуемое значением истинности; оно равно 1, если высказывание верно, и 0, если оно ложно. Допустимы, однако, и промежуточные значения, например значение $1/2$, когда высказывание с равной вероятностью может оказаться как истинным, так и ложным. Существуют, следовательно, промежуточные ситуации, для которых остается неопределенным, ложно или истинно высказывание» [Там же. С. 219]. Гейзенберг подчеркивает, что слова «остается неопределенным» ни в коем случае нельзя понимать просто в смысле незнания истинного положения дел. Эту ситуацию «нельзя, стало быть, истолковать так, что-де „в действительности“ истинно либо одно, либо другое альтернативное высказывание и неизвестно лишь, какое из них считать таковым. Высказывание с промежуточным значением истинности скорее уж вовсе не поддается выражению на обыденном языке» [Там же. С. 219–220].

Именно такого рода ситуации, «не поддающиеся выражению на обыденном языке», и описывает принцип суперпозиции состояний. Довольно красочно демонстрируется он и знаменитым парадоксом с «кошкой Шредингера». В этом мысленном эксперименте кошка находится в стальной камере, вместе со следующей «адской машиной»: в счетчике Гейгера находится очень маленькое количество радиоактивного вещества, настолько незначительное, что в течение одного часа может произойти распад только одного атома. Но с равной вероятностью такого распада может и не произойти. Если распад атома происходит, то счетчик Гейгера срабатывает и приводит в действие реле с молоточком, который разбивает колбу с синильной кислотой, убивающей кошку. В соответствии с принципом суперпозиции, если рассматривать систему как целое (т. е. кошка + ядро атома), кошка до распада ядра находится в странном — «смешанном» — состоянии, будучи и живой и мертвой одновременно, т. к. и ядро радиоактивного элемента условно можно считать находящемся в состоянии — «распавшееся» + «не распавшееся».

С физической точки зрения принцип суперпозиции нагляднее всего выражается в фейнмановском представлении квантовой механики. Не останавливаясь на нем подробно, отметим, что в соответствии с принципом суперпозиции в квантовой механике переход частицы из одной точки в другую не может совершаться по одной-единственной траектории, а совершается с определенной степенью вероятности *сразу по всем* сколь угодно сложным траекториям, соединяющим его начальную и конечную точки. Предложенный Фейнманом метод функционального интегрирования (подробнее см. в III Главе) позволяет учесть вклад каждой возможной траектории движения. Этот метод, опирающийся непосредственно на принцип суперпозиции, стал мощным вычислительным средством в современной физике элементарных частиц (см., напр., [Рамон, 1984], [Фейнман, 1968]).

§ 2. Теория измерений

Теорию измерений, которую мы будем рассматривать в данном параграфе, нельзя считать одним из основополагающих аспектов квантовой механики. Тем не менее, в связи с тем, что многие «странности» квантовой механики, ее парадоксы, ряд трактовок в настоящее время рассматриваются как раз в связи с теорией измерения, есть смысл остановиться на ней.

Эта теория по праву ассоциируется с именем Джона фон Неймана и появилась на свет почти одновременно с созданием законченного математического формализма квантовой теории. Теория измерений является, по сути, частным случаем поведения сложных, составных систем, адекватное описание которых требует введения так называемой «матрицы плотности» системы. В рамках настоящей работы мы дадим несколько упрощенное описание поведения системы при измерении (следуя работе де Бройля [де Бройль, 5]), которое, тем не менее, хорошо демонстрирует возникающие трудности и проблемы.

Пусть имеются две системы: первая — подвергаемая измерению и вторая — измерительный прибор. Процесс измерения заключается в том, что эти две системы, рассматриваемые как части целого, приходят во взаимодействие друг с другом. В результате взаимодействия прибор переходит из начального в некоторое другое состояние, и по нему делается вывод о состоянии измеряемой системы.

Обозначим через x совокупность переменных первой системы, а через y — совокупность переменных прибора. Соответственно, первая система описывается функцией $u_k(x)$, а $v_p(y)$ — совокупность функций для второй системы.

Когда системы изолированы друг от друга, что соответствует начальному состоянию, их волновые функции ψ_I и ψ_{II} изменяются во времени независимо и можно положить

$$\psi_I = \sum c_k(t) u_k(x), \quad \psi_{II} = \sum d_j(t) v_j(y). \quad (2.1)$$

Волновая функция полной системы имеет следующий вид

$$\psi(x, y, t) = \psi_I \psi_{II} = \sum c_k(t) d_j(t) u_k(x) v_j(y), \quad (2.2)$$

где суммирование проходит по всем (т. е. по i -м и k -м) состояниям.

Эта функция характеризует так называемое чистое состояние полной системы, которое было до взаимодействия. Измерение начинается в тот момент, когда включается взаимодействие между системами. Если изначально полная энергия системы, т. е. гамильтониан системы, равен сумме гамильтонианов, то теперь сюда добавится взаимодействие H_{ij} , зависящее от параметров (координат) x и y двух систем. Функция ψ полной системы

в этом случае уже не будет суммой произведений $c_k(t)u_k(x)$ на $d_j(t)v_j(y)$. Однако можно показать, что полная функция будет иметь вид

$$\psi(x, y, t) = \sum C_{kj}(t) u_k(x) v_j(y), \quad (2.3)$$

где, соответственно, коэффициенты C_{kj} уже не будут иметь простого вида $c_k(t) d_j(t)$, а приобретут более сложный вид.

В результате взаимодействия вся система переходит в новое состояние. Если ранее каждая подсистема характеризовалась т. н. «чистым» состоянием (типа $\psi_I = \sum c_k(t)u_k(x)$), то теперь она переходит в так называемое «смешанное» состояние, где состояние каждой подсистемы действительно описывается в некотором роде «смесью» двух состояний (что является, кстати, еще одной из особенностей квантовой механики). То, что две системы провзаимодействовали, еще не означает, что само измерение произведено.

«Чтобы в результате измерения можно было получить точное значение некоторой величины, характеризующей данную систему, нужно, — пишет де Бройль, — чтобы взаимодействие было особого рода. Другими словами, не всякое взаимодействие пригодно для измерения определенной величины, характеризующей первую систему. Показано, что, констатируя (макроскопическим путем) состояние второй системы после измерения, можно установить, что первая система находится в некотором чистом состоянии. Однако, поскольку в чистом состоянии физическая величина, вообще говоря, не имеет точного значения, мы в общем случае не получим значения интересующей нас величины первой системы» [де Бройль. С. 287]. Измерение можно провести в следующем случае.

Пусть A — физическая величина первой системы, которую мы хотим измерить. Возьмем в качестве базисных функций первой системы функции $u_k(x)$, являющиеся собственными функциями наблюдаемой A . Для того чтобы прибор был пригоден для измерения величины A , должна существовать некая величина B второй системы (например, положение стрелки на шкале), такая, что если $v_p(y)$ — ее собственные функции, то волновая функция Ψ полной системы после взаимодействия будет иметь вид

$$\Psi = \sum C_{kp} u_k(x) v_p(y), \text{ где } C_{kp} = C_k \delta_{kp}, \quad (2.4)$$

т. е.

$$\Psi = \sum C_k u_k(x) v_k(y). \quad (2.5)$$

Только при этом условии, как это можно математически доказать (см. напр., [5. С. 288]), устанавливается взаимно однозначное соответствие между v_k и u_k , т. е. констатация значения b_k величины B (положение стрелки прибора) позволяет приписать величине A значение a_k , т. е. измерить ее.

Важно, чтобы констатация конечного состояния измерительного прибора могла быть осуществлена макроскопическим путем — например, с помощью прямого отсчета положения стрелки на шкале или в результате срабатывания электронного счетчика при попадании в него электрона и т. д.

Эволюция волновой функции для всей системы протекает непрерывно в процессе измерения, причем полная система остается в чистом состоянии, а состояние каждой подсистемы становится определенным смешанным состоянием.

Вот тут и возникают несколько вопросов. После взаимодействия мы имеем сумму членов (2.5), описывающую систему, находящуюся в некотором «смешанном» состоянии. Однако при измерении система реально оказывается во вполне определенном состоянии и вместо всей суммы (2.5) мы имеем лишь какой-то один член, т. е. происходит своеобразное «схлопывание» или редукция волновой функции ($\sum C_k u_k(x) v_k(y) \rightarrow u_i(x) v_i(y)$). Такого рода редукция, «скачок» никак не описывается самой квантовой механикой. Многие теоретики ситуацию такого рода считают неудовлетворительной и предлагают разные способы ее разрешения.

Один из подходов связан с так называемой теорией «декогеренции» (decoherence). В настоящее время имеется обширная литература, посвященная этой проблематике и мы изложим ее, следуя обзору М. Б. Менского [Менский, 2000].

Теория «декогеренции» тесно связана с идеей «усиления» квантового состояния, своеобразного «проецирования» его на макроскопическую обстановку. Механизм такого «усиления» связан с образованием т. н. «запутанных» состояний, связанных с взаимодействием изначальной квантовой системы с макроскопическим количеством подсистем другой системы.

При взаимодействии квантовой системы, находящейся в состоянии суперпозиции, с другими системами происходит, как мы уже показали выше, смешивание, «запутывание» (квантовая корреляция) состояний первой системы с состояниями другой системы. Далее, с течением времени, и исходная система, и уже перепутанные с ней системы взаимодействуют с еще большим количеством систем, вовлекая их в запутанное состояние. Постепенно в этот процесс вовлекается огромное число степеней свободы. Результирующее состояние и интерпретируется как «суперпозиция макроскопически различных состояний макроскопической системы».

Формально этот процесс можно описать математически. Пусть изначальная квантовая система ψ находится в состоянии суперпозиции $c_1 |\psi_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle$, и она затем провзаимодействовала с некоторой другой системой α . Результат взаимодействия начального состояния $|\alpha_0\rangle$ зависит от состояния системы ψ . Рассматривается лишь такое взаимодействие, которое приводит к различию между состояниями $|\psi_1\rangle$ и $|\psi_2\rangle$. Собственно

такое взаимодействие и называют измерением¹. «Различение» означает, что конечные состояния системы α , соответствующие начальным состояниям $|\psi_1\rangle$ и $|\psi_2\rangle$ системы ψ , различны. Такой переход можно математически описать как

$$|\psi_1\rangle |\alpha_0\rangle \rightarrow |\psi_1\rangle |\alpha_1\rangle, |\psi_2\rangle |\alpha_0\rangle \rightarrow |\psi_2\rangle |\alpha_2\rangle.$$

С точки зрения формализма квантовой механики стрелка обозначает действие унитарного оператора, описывающего эволюцию системы. В силу линейности этого оператора начальное состояние $c_1 |\psi_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle$ системы ψ вызовет переход

$$(c_1 |\psi_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle) \times |\alpha_0\rangle \rightarrow c_1 |\psi_1\rangle |\alpha_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle |\alpha_2\rangle.$$

Последнее слагаемое и есть запутанное состояние систем ψ и α . Если вторая система содержит большое число степеней свободы (или систем) $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \omega$, то исходная система ψ не обязательно взаимодействует с каждой из этих систем. Она может провзаимодействовать лишь с некоторыми из них, и лишь затем с другими. При этом можно сказать, что происходит «запись» информации о состоянии ψ в состоянии всех остальных рассматриваемых систем. Совершенно аналогично предыдущему можно показать, что происходит переход

$$\begin{aligned} |\psi_1\rangle |\alpha_0\rangle |\beta_0\rangle |\gamma_0\rangle \dots |\omega_0\rangle &\rightarrow |\psi_1\rangle |\alpha_1\rangle |\beta_1\rangle |\gamma_1\rangle \dots |\omega_1\rangle, \\ |\psi_2\rangle |\alpha_0\rangle |\beta_0\rangle |\gamma_0\rangle \dots |\omega_0\rangle &\rightarrow |\psi_2\rangle |\alpha_2\rangle |\beta_2\rangle |\gamma_2\rangle \dots |\omega_2\rangle. \end{aligned}$$

В силу линейности оператора эволюции суперпозиция состояний $|\psi_1\rangle$ и $|\psi_2\rangle$ системы ψ вызовет переход

$$\begin{aligned} (c_1 |\psi_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle) \times |\alpha_0\rangle |\beta_0\rangle |\gamma_0\rangle \dots |\omega_0\rangle &\rightarrow \\ c_1 |\psi_1\rangle |\alpha_1\rangle |\beta_1\rangle |\gamma_1\rangle \dots |\omega_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle |\alpha_2\rangle |\beta_2\rangle |\gamma_2\rangle \dots |\omega_2\rangle &= \\ = c_1 |\psi_1\rangle |A_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle |A_2\rangle. & \quad (2.6) \end{aligned}$$

Если число систем, участвующих во взаимодействии, велико, что верно для макроскопической системы, то возникает «запутывание» системы ψ с системой A , и образуется суперпозиция двух различных состояний макроскопической системы. Состояния, входящие в эту суперпозицию, «макроскопически различимы» в том смысле, что огромное число степеней свободы описывается различными волновыми функциями. Так и возникает тот процесс «усиления», т. е. суперпозиция макроскопически различных состояний макросистемы, о котором говорилось выше.

¹ С точки зрения математического формализма говорят, что это измерение, характеризующееся проекторами $|\psi_1\rangle\langle\psi_1|$ и $|\psi_2\rangle\langle\psi_2|$.

Следуя формально правилам квантовой механики, можно сделать вывод, что суперпозиции такого рода могут существовать для сколь угодно больших систем. В реальности же (исключая случай сверхпроводящих и сверхтекучих систем) такие суперпозиции никто и никогда не наблюдал. Мы всегда констатируем лишь то или иное наличное состояние системы. Эта ситуация воспринимается как парадокс, требующий какого-то разрешения.

Попытка разрешения этого парадокса и связана с теорией «декогеренции», восходящей еще к идеям Гейзенберга. Декогеренция квантовой системы происходит каждый раз, когда ее состояние запутывается с состоянием ее окружения.

Вернемся к процессу (6), переводящему исходное состояние системы и ее окружение в запутанное состояние

$$\Psi = c_1 |\psi_1\rangle|A_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle|A_2\rangle.$$

Это так называемое чистое состояние системы, и оно может быть выражено волновой функцией (вектором состояния). Его же можно описать и в форме матрицы плотности $R = |\Psi\rangle\langle\Psi|$. Если мы интересуемся лишь состоянием системы ψ (но не ее окружения A), то оно описывается уже не волновой функцией, а т. н. редуцированной матрицей плотности, равной следу матрицы R по степеням свободы окружения:

$$\rho = \text{tr}_A R = |c_1|^2 |\psi_1\rangle\langle\psi_1| + |c_2|^2 |\psi_2\rangle\langle\psi_2| + c_1 c_2^* \langle A_1|A_2\rangle |\psi_1\rangle\langle\psi_2| + c_2 c_1^* \langle A_2|A_1\rangle |\psi_2\rangle\langle\psi_1|. \quad (2.7)$$

Состояния $|A_1\rangle$ и $|A_2\rangle$ макроскопически различимы, т. е. отличаются друг от друга в огромном числе степеней свободы, или $|\alpha_1\rangle$ отличается от $|\alpha_2\rangle$, $|\beta_1\rangle$ отличается от $|\beta_2\rangle$ и так далее. Скалярные произведения $\langle\alpha_1|\alpha_2\rangle$, $\langle\beta_1|\beta_2\rangle$ по модулю меньше единицы, и т. к. их число макроскопически велико, то произведение чисел $\langle A_1|A_2\rangle$ практически равно нулю и перекрестные члены в (7) исчезают. Следовательно, для системы ψ можно написать

$$\rho = |c_1|^2 |\psi_1\rangle\langle\psi_1| + |c_2|^2 |\psi_2\rangle\langle\psi_2|. \quad (2.8)$$

Это смешанное состояние, которое можно интерпретировать следующим образом: система с вероятностью $|c_1|^2$ находится в состоянии $|\psi_1\rangle$ и с вероятностью $|c_2|^2$ в состоянии $|\psi_2\rangle$. Это как раз то математическое выражение состояния, которого следует ожидать после измерения. Возникновение этого смешанного состояния (8) и называется декогеренцией.

При этом легко видеть, что эта теория хорошо объясняет только то, почему возникает смешанное состояние, связанное с различными альтернативными результатами измерения, не отвечая, *каким образом происхо-*

дит выбор или почему наблюдается только одна из альтернатив. Фактически остается открытой проблема редукции волновой функции. В настоящее время имеется ряд подходов, пытающихся ее разрешить; их мы и рассмотрим ниже.

§ 3. «Зависимость от иного» и целостность квантового явления

Следующая, основополагающая особенность квантовой механики тесно связана с принципом дополнительности Бора, или, в терминах В. А. Фока, «принципом относительности к средствам наблюдения». Для краткости назовем его «зависимость от иного». Детально на нем мы остановимся в следующей главе, здесь же продемонстрируем кратко, в чем состоит его суть, что легко сделать, рассмотрев простой пример из квантовой механики, а именно хорошо известный двухщелевой эксперимент.

Пусть из некоторого источника испускаются элементарные частицы, например, электроны (см. рис. 1). На их пути стоит непроницаемый для них экран с двумя щелями (1 и 2). Частицы испускаются не слишком часто, так что для любых двух электронов всегда удастся установить, какой из них вылетел раньше. Направление, по которому летит электрон, случайно. Только попавшие в щели первого экрана электроны могут проникнуть за этот экран и попасть на второй экран. Если открыта только щель 1, то больше всего электронов попадает на второй экран прямо против этой щели; чем дальше от щели, тем меньше электронов попадает в это место экрана. Распределение вероятности попадания электронов на различные участки второго экрана при открытой щели 1 изображено кривой P_1 . Если

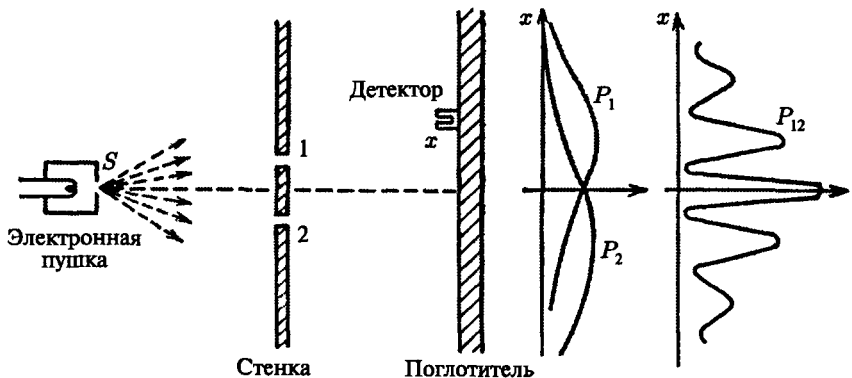


Рис. 1. Двухщелевой эксперимент с электронами

открыть только щель 2, то такое же распределение вероятности попадания электронов будет с максимумом против щели 2 (кривая P_2).

Что же будет, если открыть одновременно обе щели? «Обыденный смысл» подсказывает следующее. Электрон может попасть на второй экран, только предварительно пройдя или через щель 1, или через щель 2; любой третий вариант исключен. Распределение вероятности попадания электронов на второй экран будет равно сумме распределений для случаев, когда открыта только щель 1 или только щель 2; $P_{12} = P_1 + P_2$. Именно так было бы при подсчете вероятности попадания камней, если бы мальчишки обстреливали из рогатки с улицы комнату с двумя открытыми окнами.

Но электроны или любые другие элементарные частицы ведут себя совершенно иначе. Распределение вероятности их попаданий на второй экран не похоже на кривую P_{12} . Оно происходит так, как показано на кривой P^*_{12} , что характерно для интерференции. Ясно, что $P^*_{12} \neq P_1 + P_2$. Такое распределение кажется удивительным. Как могло случиться, что в точку, находящуюся посередине между отверстиями, попало больше электронов, чем число электронов, попадающих сюда из числа прошедших щель 1, в то время как при открытии одной щели 2 электроны сюда вообще практически не попадают? Каким путем пришли сюда эти «избыточные» электроны?

Попытаемся проследить, через какую щель (1 или 2) прошел каждый электрон, попавший на второй экран. Для этого поставим за щелями 1 и 2 индикаторы D_1 и D_2 (на рис. 1 они не изображены), которые будут регистрировать прохождение каждого электрона через щель. Эти индикаторы представляют собою источники света (фотонов), «освещающего» пролетающие электроны. Каждый раз, в полном соответствии с «обыденным смыслом», срабатывает только один индикатор: электрон проходит либо через щель 1, либо через щель 2. Но вот распределение вероятности попаданий электронов на второй экран соответствует теперь не кривой P^*_{12} , а сумме кривых P_1 и P_2 . Электроны, летящие через щель 1, попадают на второй экран точно так, как было бы, если бы была только щель 1. Точно так же электроны, прошедшие через щель 2, распределяются на втором экране так, как было бы, если бы открытой была только вторая щель.

При наличии индикаторов, определяющих, через какую щель прошел электрон, получается классическая картина, без интерференции. При отсутствии же индикаторов интерференция есть, но невозможно сказать, через какую щель прошел электрон.

Итак, само наблюдение, говоря более точно, использование того или иного типа экспериментальной установки, существенно меняет поведение электронов между первым и вторым экраном. Если при изучении макроробъектов в классической физике одним из основных требований было использование такого метода наблюдения или измерения явления, который не меняет протекания наблюдаемого процесса, то при переходе к изуче-

нию микрообъектов (элементарных частиц) оказалось, что не существует методов наблюдения, не изменяющих ход наблюдаемого явления.

Вернемся к опыту с двумя щелями. Через какую щель пролетает электрон, когда нет индикаторов, регистрирующих его прохождение? Кажалось бы, через ту же, которую он пролетит и при наличии индикатора: ведь индикатор стоит (и может повлиять на путь электрона) после щели, а то, в какую щель попадает электрон, определяется его траекторией на участке от источника до щели, т. е. раньше, чем в ход процесса может вмешаться влияние индикатора. Но тогда кажется совершенно непонятным, почему путь электрона, который прошел через щель 1, зависит (при отсутствии индикаторов!) от того, открыта или закрыта щель 2 (вспомним, например, точку, куда электроны почти перестают попадать при обеих открытых щелях).

Итак, поток электронов через экран с двумя щелями не может быть описан как движение привычных нам частиц или тел: обнаруживается интерференция, вероятность попадания электронов на второй экран при двух щелях не равна сумме вероятностей для каждой отдельно открытой щели. Эти черты роднят поток элементарных частиц с волной.

В этом простом эксперименте и проявляется знаменитый корпускулярно-волновой дуализм. Суть его в том, что частицы в атомных явлениях проявляют, в зависимости от условий наблюдения, либо волновые, либо корпускулярные свойства, демонстрируя «принцип относительности к средствам наблюдения» В. А. Фока.

Рассматриваемая «зависимость от иного» проявляется в одном интересном парадоксе, где утверждается, что взаимодействие нестабильной системы с измерительным прибором замедляет ее распад. Речь идет о так называемом «квантовом парадоксе Зенона». Работы в этой области инициировали исследования Сударшан и Мишра ([Misra, Sudarshan, 1977], [Chiu, Sudarshan, Misra, 1977]) и впоследствии анализировались многими авторами ([Peres, 1980], [Singh, Whitaker, 1982] и др.).

Рассмотрим некоторую нестабильную систему, описываемую гамильтонианом

$$H = H_0 + V. \quad (3.1)$$

Первоначально система находится в некотором собственном состоянии $|\phi\rangle$ гамильтониана H_0 ; по прошествии времени t ее волновая функция имеет вид

$$\exp(-iHt) |\phi\rangle, \quad (3.2)$$

а вероятность выживания начального состояния при малых t дается выражением

$$|\langle\phi|\exp(-iHt)|\phi\rangle|^2 = 1 - (\Delta H)^2 t^2, \quad (3.3)$$

где

$$(\Delta H)^2 = \langle \phi | H^2 | \phi \rangle - |\langle \phi | H | \phi \rangle|^2. \quad (3.4)$$

Если измерение производится n раз через промежутки времени t/n , то вероятность выживания оказывается равной величине $[1 - (\Delta H)^2 (t/n)^2]^n$, которая при n стремящемся к бесконечности, т. е. при непрерывном, наблюдении, стремится к единице, что означает: система остается в прежнем состоянии.

Заметим сразу же, что сам термин «наблюдение» представляется не совсем адекватным. В этом отношении интересно замечание из статьи Переса [Peres, 1980]. Он предлагает шутливое описание нейтрона в ядре как «находящегося под постоянным наблюдением своих собратьев нуклонов» и полагает, что такое описание может помочь объяснить, почему нейтроны, связанные в ядре, не распадаются. Использование термина «наблюдение» в данном случае представляется совершенно неуместным; решение проблемы кроется в деталях энергетического баланса, получаемых из теоретической ядерной физики, а не из формализма квантовой механики.

Не вдаваясь в тонкости данного парадокса, отметим здесь, как существенное, что он также демонстрирует такую особенность протекания квантового процесса, как «зависимость от иного». С этим же принципом тесно связан и другой важный аспект квантово-механического описания реальности, а именно т. н. **целостность** (и **нелокальность**) **квантового явления**. Речь пойдет об эффектах, связанных со знаменитым парадоксом Эйнштейна—Подольского—Розена (ЭПР-парадокс).

Детально на этом парадоксе мы остановимся во второй главе, здесь же рассмотрим лишь те его аспекты, которые нужны для рассматриваемой идеи целостности квантового явления. Основопологающая идея ЭПР-парадокса проста. Пусть в некоторой точке находится некоторая квантовая система с нулевым спином. Это может быть так называемый позитроний, т. е. состоящая из одного позитрона и одного электрона система, которая переведена в основное состояние с нулевым угловым моментом. В таком состоянии он находится до тех пор, пока не происходит аннигиляция. Два фотона вылетают с равными и противоположными импульсами. Для определенности будем считать, что один фотон летит направо, а другой налево. Наблюдатель справа определяет, имеет ли фотон, летящий вправо, правую или левую круговую поляризацию. Каков бы ни был результат измерения, он уверен, что определение круговой поляризации летящего влево фотона будет давать точно тот результат, который требуется для сохранения углового момента. И наоборот, он может решить изучать свойства фотона, летящего вправо, с помощью анализатора линейной поляризации. Тогда он проведет измерение, чтобы определить, поляризован ли фотон в направлении Y (или в направлении Z). При этом он уверен, что изучение с помощью аналогичной аппара-

туры фотона, летящего влево, покажет со 100 %-й вероятностью, что последний колеблется в направлении Z (или в направлении Y).

Необходимо отметить, что на первый взгляд нет ничего поразительного в наличии корреляции поляризации двух фотонов. Можно спросить: какая принципиальная разница имеется здесь по сравнению с игрой, в которой монета распиливается вдоль? Две половинки вкладываются в конверты, которые запечатываются и отправляются наблюдателям, находящимся далеко слева и справа. Если наблюдатель справа откроет свой конверт и обнаружит там «орла», то он будет знать, что другой наблюдатель вдали от него найдет «решку», когда откроет свой конверт. Здесь нет парадокса.

Парадокс возникает лишь только тогда, когда мы вспомним, что в рамках квантовой механики свойства микрообъектов не существуют до измерения, а точнее, находятся в состоянии суперпозиции всех возможных состояний, в состоянии «потенциальных возможностей», и лишь только после измерения можно говорить о каком-либо свойстве квантового объекта. Именно это обстоятельство и дало возможность Уилеру говорить о «творении» в соответствии с его уже упоминавшимся знаменитым тезисом, согласно которому явление может считаться явлением лишь тогда, когда оно наблюдается.

Одно из парадоксальных следствий квантовой механики — это резкое нарушение принципа локальности. Частицы в ЭПР-эксперименте могут разойтись сколь угодно далеко, хоть на противоположные концы Вселенной, когда между ними уже не будет никакого «классического» взаимодействия, — тем не менее, измерение, произведенное «здесь и сейчас», тотчас создает однозначно определенную ситуацию «там», куда, в строгом соответствии с теорией относительности, передача сигнала мгновенным образом невозможна.

Еще раз подчеркнем (т. к. именно здесь часто возникают недоразумения), что «ортодоксальная» интерпретация квантовой механики указывает на принципиальную неопределенность ситуации до измерения. В противном случае фактически оказалось бы справедливым утверждение о существовании «скрытых параметров». Раз те или иные свойства predeterminedены до измерения, то существует «скрытый параметр», их детерминирующий, и, следовательно, ситуация становится совершенно аналогичной случаю с распиленной на «орел» и «решку» монетой.

Существует принципиальная возможность сравнить выводы двух позиций — «ортодоксальной» квантово-механической и теорий со «скрытыми параметрами». Эксперименты по проверке неравенств Белла, поставленные Аспеком [Aspect, 1982], а также ранние работы Фридмана и Клаузера [Freedman, Clauser, 1970] и последовавшие эксперименты с «отложенным выбором» недвусмысленно демонстрируют адекватность именно «ортодоксального» подхода. Суть его кратко можно выразить следующим образом: строгое разделение квантово-механической системы на отдельные

системы, соответствующие индивидуальным частицам, невозможно до тех пор, пока не произошел акт взаимодействия.

Как справедливо было отмечено С. В. Илларионовым, идея целостности связана не только с ЭПР-эффектом, но пронизывает все здание квантовой теории. «Идея целостности, не сводимой к классическим формам, содержится и в принципе неразличимости частиц, и в принципе Паули, и в многочастичном уравнении Шредингера. Например, уравнение Шредингера для системы многих микрообъектов записывается не для каждого из них, а для общей волновой функции, определенной в пространстве конфигураций всех частиц» [Илларионов, 1979. С. 475].

Итак, целостность квантово-механического феномена является одним из его фундаментальных свойств и тесно связана с другими квантовыми особенностями: принципом суперпозиции, нелокальностью, причинностью и др. Часто принцип целостности начинают толковать расширительно, говоря о холизме, нарушении субъект-объектной разделенности, «включенности» сознания в реальность, более того — о «творении» сознанием этой реальности и т. д. В последующих главах мы попытаемся проанализировать, насколько все эти утверждения соответствует действительности.

§ 4. Динамизм квантовых явлений

Выделенные выше особенности квантовых явлений и ранее отмечались исследователями. Например, в цитированной выше статье С. В. Илларионова указывается, что «осознание вероятности как объективной характеристики микропроцессов, их относительности к типу прибора (вида взаимодействия) и представление о специфической целостности создают полную интерпретацию квантовой механики..., лишенную какой-либо двусмысленности и субъективности» [Илларионов, 1979. С. 480].

В данном параграфе нам бы хотелось указать на еще один аспект, вычленимый не всеми авторами, но представляющийся достаточно важным. Речь идет о динамичности квантовых явлений. Динамичность мы понимаем здесь достаточно широко. Она включает не только понятие движения, перемещения, но и понятие изменения в самом широком смысле.

Как будет показано ниже, аспект динамичности тесно связан с уже выделенными ранее аспектами, он вытекает из них и их с необходимостью требует, поэтому специально на нем можно было бы не останавливаться. Однако мы его выделим отдельно, тем более что он играет важную роль в некоторых трактовках квантовой механики (например, у Бома) и шире, при рассмотрении современных физических процессов, что особо отмечается, например, Пригожиным и др.

Квантовая механика в той форме, о которой выше шла речь, а именно — нерелятивистская квантовая механика, не охватывает всего многообразия процессов микромира. Она оказывается не совсем последовательной. Так, трактовка взаимодействия остается в ней в сущности классической. Например, движение электрона в атоме водорода рассматривается как движение в классическом кулоновском поле. Обычная квантовая теория сначала не могла дать последовательного описания такому важнейшему процессу, как излучение света атомами. Суть дела состоит в том, что нерелятивистская квантовая механика описывает системы с неизменным числом частиц, и только для таких систем она является стройной, логически замкнутой теорией. «В действительности же число частиц в системах не остается постоянным (выделено мной — А. С.), особенно при высоких энергиях. Более того, процессы рождения, уничтожения и превращения частиц имеют фундаментальное значение для микромира. Именно непрерывное испускание и поглощение одних частиц другими является основной формой „жизнедеятельности“ микрообъектов, приводящей к взаимодействию между ними» [Мякишев, 1973. С. 67].

Теория поля, используя метод вторичного квантования, распространила квантовые методы на системы с переменным числом частиц. В этой теории, наряду с операторами энергии, импульса и т. д., представляющими эти величины в обычной квантовой механике, вводятся т. н. операторы рождения и уничтожения частиц. В такой теории вероятностные законы квантовой механики определяют не только координаты и импульсы частиц, но и само число частиц.

Одним из интересных следствий этой теории является утверждение о существовании так называемого вакуумного состояния. Оказывается, что квантовое поле в отсутствие частиц (соответствующее классическому вакууму) имеет не нулевую энергию, как этого можно было бы ожидать, а некую конечную — ненулевую. Это вакуумное состояние играет фундаментальную роль. То, что число частиц в нем равно нулю, еще не означает, что поля совсем нет. Существуют так называемые нулевые колебания флуктуационного характера. Квантовые флуктуации поля неустранимы, и они приводят к эффектам, наблюдаемым экспериментально.

Изначально такая теория была развита для электромагнитного поля, для процессов рождения и уничтожения фотонов, а впоследствии и для остальных видов взаимодействия.

Динамизм в области микроявлений проявляется в процессах распада, рождения, уничтожения частиц, их взаимного перехода друг в друга, рождения виртуальных частиц. Процесс изменения, или становления, в философском смысле, демонстрирует и процесс спонтанного нарушения симметрии, так называемый механизм Хиггса возникновения массы элементарных частиц. Подобное явление лежит в основе построения единых теорий взаимодействия элементарных частиц, например, модели Вайнберга—Са-

лама—Глешоу для объединения электромагнитных и слабых взаимодействий, большого объединения сильных и электрослабых взаимодействий.

Описание процессов изменения, становления не является прерогативой только квантовой физики. Современная синергетика, теория катастроф, теория хаоса также занимаются изучением динамических процессов. Можно утверждать, что вся современная физика изучает взаимодействия, процессы, *события*. Однако данное утверждение требует более тонкой «расшифровки». Неверное истолкование может привести к «буддистской» трактовке вещей, объектов как чистых событий, процессов, как, например, это было сделано в работе Судзуки [Suzuki, 1968. P. 55]. Подробнее эта проблематика будет рассмотрена в последней части работы.

§ 5. Принцип взаимности

Структура законов квантовой механики содержит и позволяет вычленить один принцип, на который до сих пор не обращалось должного внимания. Речь идет о так называемом *принципе взаимности* (reciprocity), сформулированном в частном случае впервые Максом Борном еще в 1938 г. (см. напр. [Борн, 1977. С. 122–126]). В общем виде он выражается в наличии определенной симметрии основных уравнений относительно взаимных преобразований координат и импульсов (скоростей) физической системы. Прежде чем обсудить его и попытаться выяснить, с чем он связан, рассмотрим ряд эвристических соображений, рассмотрение которых позволит более полно понять этот принцип.

1. Начнем с того, что фундаментальные физические законы подчиняются законам относительности, связанным с возможностью перехода от одной системы отсчета к другой, и с заменой координатных представлений. Остановимся на этом чуть подробнее.

Необходимым составным элементом любого исследования является наличие системы отсчета. Только при наличии и правильном выборе системы отсчета, в соответствии с условиями наблюдения, можно ожидать результатов, поддающихся физической интерпретации. «Система отсчета, с одной стороны, представляет собой как бы мизансцену, на фоне которой развертываются события, с другой стороны, — это своеобразный физический прибор, предназначенный для выполнения некоторых измерений, и, как таковой имеет нечто общее с любым, обычным, физическим прибором. 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, любым, но однозначным образом зафиксирована на его шка-

ле. Точно также и система отсчета должна иметь физический базис — набор, определенным образом движущихся или неподвижных, тел, стандартных представлений и часов» [Родичев, 1972. С. 89].

Градуировка системы отчета распадается на две существенно различные процедуры, назовем их — (А) и (В). А-градуировка позволяет каждому телу, в механике материальной точки, сопоставить 4 координаты — числа x^k , которые характеризуют ее положение в пространстве в определенный момент времени. Ясно, что выбор координат никак не связан с изменением физической ситуации и, следовательно, мы можем переходить от одного координатного представления к другому. Из этой же произвольности следует, что в общем случае величины dx^k не могут быть истолкованы как соответствующие промежутки, и становятся таковыми лишь при введении метрики пространства.

Одной А-градуировки недостаточно. Для описания движения тела, кроме сведений о положении центра его масс в данный момент времени, необходимо знать его мгновенную ориентацию и скорость его центра масс. «Таким образом, в дополнение к А-градуировке необходимо еще пронумеровать (перечислить) все направления и скорости относительного движения. Это и составляет содержание В-градуировки» [Родичев, 1972. С. 92]. Выбор этих начальных направлений и скоростей (ввиду относительности направления и скорости) — операция хотя необходимая, но формальная. «Две различные В-градуировки, которые в силу определения, конечно, равноправны, связаны преобразованием группы (В). Следовательно, группа (В) описывает переход от одной В-градуировки к другой, подобно тому, как группа (А) устанавливает связь между двумя А-градуировками.

Подводя итог, можно сделать очень важный вывод: из того факта, что выбор как А-, так и В-градуировки — операция хотя и необходимая, но в основном формальная, не влияющая ни на состояние движения системы отсчета, ни тем более на состояние исследуемого объекта, следует:

- I. Законы природы аналитически должны выражаться в форме общеквариантной относительно обеих групп преобразований (А) и (В).
- II. Все физические величины должны геометрически отображаться общеквариантными относительно групп (А) и (В) тензорами» [Родичев, 1972. С. 92].

2. Если мы фиксируем систему отсчета, то уже здесь, на уровне обычной классической механики, имеется связь, симметрия, отображаемая каноническими уравнениями движения, или уравнениями Гамильтона

$$dq/dt = \partial H / \partial p, \quad dp/dt = -\partial H / \partial q.$$

Легко видеть, что они симметричны (точнее антисимметричны из-за знака минус во втором уравнении) относительно перестановки координат и импульсов системы.

3. В специальной теории относительности можно отметить наличие определенной симметрии, хотя в данном случае точнее мы назвали бы это аналогией, в ее фундаментальных уравнениях, в частности, между формой интервала и закона сохранения энергии

$$ds^2 = c^2 dt^2 - \sum dx_i^2, \quad m^2 c^2 = E^2 / c^2 - \sum p_i^2.$$

Такая аналогия не является случайной и тесно связана со структурой пространства-времени Лобачевского в специальной теории относительности и уравнениями движения в этом пространстве. Так, уравнения Гамильтона—Якоби в четырехмерном виде записываются следующим образом:

$$\sum (\partial S / \partial x_i)^2 = -m^2 c^2,$$

но так как $\partial S / \partial x_i$ есть не что иное как 4-импульс p_i , получим закон сохранения энергии-импульса $\sum p_i^2 = -m^2 c^2$.

Если теперь перейти к совершенно иной физической теории, а именно к квантовой механике, то здесь связь и симметрия между координатами и импульсами является еще более прозрачной.

4. Хорошо известно, что основные законы квантовой механики, такие как соотношения коммутации, соотношения неопределенности и т. д., симметричны по отношению к координатам x и импульсам p . Так, соотношение коммутации имеет вид

$$p_x x - x p_x = -i\hbar,$$

где p_x и x — соответствующие операторы импульса и координаты. Именно отсюда и выводится соотношение неопределенностей Гейзенберга

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2,$$

симметричное, естественно, уже относительно самих координат и импульсов.

5. Все уравнения квантовой механики (например, Шредингера и Дирака) могут быть сформулированы как в координатном, так и в импульсном представлениях, и оба эти представления являются эквивалентными и симметричными. Так, в квантовой электродинамике, как известно, имеется следующая симметрия между уравнениями Дирака в координатном и импульсном пространстве соответственно:

$$(i\gamma^k \partial / \partial x^k - m)\psi = 0, \quad (\gamma^k p_k - m)\psi = 0.$$

6. Само представление операторов носит также совершенно симметричный характер. Так, например, оператор импульса в координатном представлении имеет следующий вид

$$p_i = -i\hbar (\partial / \partial x_i),$$

и, наоборот, оператор координаты в импульсном представлении представляется симметрично предыдущему соотношению

$$x_i = -i\hbar (\partial / \partial p_i).$$

Также совершенно симметричны операторы координаты в координатном представлении и импульса в импульсном представлении, которые есть просто умножение на соответствующий параметр.

7. Законы распределения координат и импульсов в квантовой механике не просто связаны соотношением неопределенностей, но также имеют определенный симметричный вид. Так, если у нас имеется частица, находящаяся в состоянии, описываемом волновой функцией $\psi(x)$, то вероятность ее обнаружения в узком интервале dx близ точки x равна, как известно,

$$P(x, dx) = |\psi(x)|^2 dx.$$

Рассмотрим для простоты частицу, расположенную в некоторой области вокруг $x = 0$, которая имеет простейшее Гауссово распределение для плотности вероятности координаты частицы, описываемой волновой функцией

$$\psi(x) = K \exp(-x^2/4\sigma^2).$$

Распределение вероятности, которое может иметь то или иное значение x для такой волновой функции, дается ее квадратом

$$P(x, dx) = K^2 \exp(-x^2/2\sigma^2) dx.$$

Можно рассчитать соответствующее распределение по импульсу и прийти к «интересному результату — распределение амплитуд по p имеет в точности ту же математическую форму, что и распределение амплитуд по x , только ширина кривой Гаусса иная... Если сделать распределение по x очень узким, то... распределение по p сильно расплывется. Или наоборот, если распределение по p узко, то оно соответствует широкому распределению по x » [Фейнман Р. и др. 1978. С. 354]. Так, соответствующая амплитуда вероятности по импульсу будет иметь вид

$$\psi(p) = (4)^{1/4} K^{-1} \exp(-p^2 \sigma^2 / \hbar^2).$$

Легко доказать, что и делается в любом курсе квантовой механики при выводе соотношения неопределенности, что распределения по x и p всегда являются коррелированными, взаимно отображают друг друга. Такой результат тем более примечателен, что в квантовой механике импульс частицы p не является функцией координаты частицы x (см. напр. [Блохинцев, 1976. С. 64–65]). Получается, что координатное представление «отслеживает» импульсное, и наоборот (при формальной независимости координат и импульсов, что и дает собственно возможность формулировки уравнений квантовой механики в эквивалентных координатных и импульсных представлениях).

Интересно отметить, что соответствующая симметрия между координатами и импульсами ранее отмечалась Гейзенбергом и использовалась им для критики некоторых интерпретаций квантовой механики. Так, в начале 50-х гг., в статье «Развитие интерпретации квантовой теории», касаясь только что появившейся теории квантового потенциала Бома, он пишет: «Язык Бома (имеется в виду формализм этой теории — А. С.) разрушает симметрию между p и q , присущую квантовой теории. Действительно, в его теории $|\psi(q)|^2$ означает плотность вероятности в координатном пространстве, но $|\psi(p)|^2$ не означает того же в импульсном пространстве. Поскольку свойства симметрии всегда относятся к физической сущности теории, совсем не очевидно, какие преимущества дает отказ от них в соответствующем языке.

То же возражение применимо к попыткам де Бройля, предложившего теорию „волны-пилота“; в этом случае также $|\psi(q)|^2$ представляет собой плотность вероятности в координатном пространстве, но $|\psi(p)|^2$ не представляет ее в импульсном пространстве.

Аналогичное возражение можно сделать в несколько иной форме против статистических интерпретаций Боппа и Феньеша» [Гейзенберг, 1958. С. 32].

8. Уравнения статистической механики также демонстрируют соответствующие симметрии. Мы в данном случае не будем останавливаться на виде симметричных соответствующих функций распределения, флуктуаций и т. д., а отметим только, что все уравнения статистики следуют из *основного постулата равновесной статистической механики* (который никак не следует, заметим, их механики классической), гласящего, что **все допустимые микросостояния замкнутой системы равновероятны**. Не входя в детали, хорошо известные физикам, упрощенно его можно пояснить следующим образом.

Уравнения статистической механики формулируются на так называемом фазовом пространстве, области допустимых значений координат и импульсов частиц системы. Если система замкнута, то ее полная энергия неизменна и равна величине E . Все фазовое пространство можно разбить на конечные ячейки, в которых будет находиться то или иное число частиц. Для координат интуитивно ясно, что частицы с равной степенью вероятности находятся во всех допустимых состояниях. В этих фазовых ячейках находятся частицы, обладающие определенной энергией, и сумма

$$N_1 \varepsilon_1 + N_2 \varepsilon_2 + N_3 \varepsilon_3 + \dots$$

(где N_i — число частиц в i -й фазовой ячейке, а ε_i — их энергия), будет равна полной энергии

$$\sum N_i \varepsilon_i = E.$$

Конкретный вид и есть так называемое микросостояние. Понятно, что возможно огромное число таких микросостояний, и основная гипотеза

статистической механики гласит о равенстве этих вероятностей (так называемый закон *равенства априорных вероятностей*, который был четко сформулирован Толменом в 1938 г. и еще раньше неявно использован Гиббсом при выводе его уравнений [Балеску, 1978. Т. 1. С. 130–133]). То есть возникает, говоря физическим языком, близкое к равномерному распределение состояний системы на поверхности постоянных энергий. Если для координат такое положение, как мы уже отмечали выше, представляется естественным, то доказательство такого принципа для энергий и составляет задачу обоснования статистики. На наш взгляд, оно требует привлечения рассматриваемого принципа взаимности, и принцип *равенства априорных вероятностей* тесно связан с равномерностью распределения в координатном пространстве. Попытку обоснования этого принципа мы рассмотрим позже, здесь же только отметим аналогичность равновероятностей распределений по координатам и импульсам частиц системы.

Принцип взаимности не ограничивается рассмотренными выше восемью пунктами. Аналогичность многих законов физики, относящихся к разным ее областям, хорошо известна, и любой физик легко сможет продолжить представленный список. Мы остановили на них свое внимание, т. к. именно эти симметрии, связанные с координатным и импульсным пространством, и будут представлять для нас интерес в дальнейшем.

Можно было бы ограничиться сугубо утилитаристским подходом, подходом «аналитика-позитивиста» и констатировать, что рассмотренные аналогии хорошо известны, во многом тривиальны и вытекают из структуры тех или иных уравнений физики, — и вряд ли стоит искать что-то их объединяющее. Если же и искать нечто общее, чем, вообще говоря, и занимаются физики-теоретики, то оно будет достигнуто на пути объединения, синтеза существующих теорий. Именно по этому пути и движется физика уже более века.

Представляется интересным, что впервые принцип взаимности (reciprocity) был сформулирован Максом Борном как раз при попытке синтеза общей теории относительности и квантовой теории, о чем мы уже упоминали выше.

Борн заметил, «что теория преобразований в квантовой механике соответствует свойству классических уравнений движения быть инвариантными по отношению к контактными преобразованиям. Последние являются одновременными преобразованиями координат x^k (включая время) и импульсов p_k (включая энергию), при которых разность величины $p_k dx^k$, записанной в старой и новых переменных, является полным дифференциалом. Точечные преобразования в x -пространстве являются всего лишь частным случаем; однако имеется другой случай, столь же простой, как и первый, который может быть описан как точечное преобразование в p -пространстве» [Борн, 1977. С. 122].

Далее он отмечает, что в общей теории относительности имеют дело только с точечными преобразованиями в x -пространстве. Можно показать, что и делается в тензорном анализе, что преобразования импульсов p_k , подчиненные упомянутому выше условию контактности, представляют не что иное, как тензорное исчисление общей теории относительности.

Эти соображения и привели Борна к формулировке принципа взаимности: «Мне представляется, что точечные преобразования в p — пространстве можно было бы рассмотреть подобным же образом. Такой путь ведёт к некоему обращённому формализму теории относительности в p — пространстве, в котором везде координаты пространство-время и импульс-энергия поменялись местами.

Эти факты в сильной степени наводят на мысль о формулировке „принципа взаимности“, в соответствии с которым любой общий закон в x -пространстве имеет „инверсный образ“ в p -пространстве (выделено мной — А. С.)» [Борн, 1977. С. 122].

Такого рода дуальность физических законов имеет далеко идущие последствия. Уже Макс Борн в упоминаемой работе, как мы уже говорили, пытался с единой позиции (на основе именно этого принципа) рассматривать теорию относительности и квантовую механику, что привело его к ряду интересных результатов.

Борн не построил развитую теорию, однако полученные им результаты позволяют утверждать, что принцип взаимности в рамках физики является «чем-то большим, чем простой формализм» [Борн, 1977. С. 125].

Неудача такой попытки и ее неплодотворность связана, по нашему мнению, с тем, что теории «сшиваются горизонтально», без учета того, что зачастую они описывают разные структурные уровни материи. Необходимо переходить от «горизонтальной сшивки» к «вертикальной», к поиску наиболее общих структур в теориях и того, что за ними стоит. Этому в физике соответствует переход от «уровня уравнений» к «уровню симметрий». Первоначально те или иные симметрии играли в физике роль вспомогательную. Развитие квантовой механики, теории элементарных частиц, прежде всего калибровочных теорий, показало фундаментальную роль тех или иных групп симметрий. Оказалось, что именно они несут на себе наиболее фундаментальную информацию о физической системе, и уравнения, описывающие их поведение, являются всего лишь следствием из данных симметрий.

Заметим, кстати, что хорошо известна соответствующая «симметричная» связь между координатным пространством и импульсом замкнутой системы: закон сохранения энергии-импульса тесно связан с фактом однородности пространства-времени. Действительно, в силу этой однородности свойства замкнутой системы не меняются при любом параллельном переносе системы как целого в пространстве. Параллельный перенос есть такое преобразование координат, при котором все точки системы смеща-

ются на один и тот же вектор ϵ , т. е. их радиус-вектор получает соответствующее приращение: $\mathbf{r} \rightarrow \mathbf{r} + \epsilon$. Рассматривая неизменность т. н. функции Лагранжа при бесконечно малом смещении dx , легко получить закон сохранения импульса $dp/dt = 0$.

Несложно увидеть, что большинство рассмотренных выше примеров связано с некоторой симметрией законов при замене $(\partial/\partial x_i) \rightarrow p_i$ и наоборот, что приводит, с точки зрения математики, к рассмотрению т. н. «касательных пространств». Не входя в математические детали, будем просто говорить об импульсном пространстве и, обобщая все рассмотренные выше примеры, сформулируем принцип взаимности (обобщая формулировку Макса Борна) следующим образом:

Фундаментальные физические законы являются общековариантными при переходе от координатного к импульсному пространству и наоборот.

«Общековариантность» означает здесь и наличие «инверсного образа» (по Борну), и неизменность формы записи уравнений при переходе от координатного к импульсному пространству.

На наш взгляд, этот принцип позволяет по-новому рассмотреть целый ряд вопросов КМ — как ранее многократно обсуждавшихся (например, принцип дополнительности и неопределенности), так и новых, ранее практически ускользавших от внимания исследователей. Одним из таких вопросов является как раз эквивалентность описания квантовых процессов в координатном и импульсном представлениях. Для целей нашего исследования наиболее интересным представляется вопрос об онтологическом статусе импульсного пространства. Является ли оно лишь вспомогательным математическим конструктом или ему соответствует некоторый референт в бытии?

Один тот факт, что уравнения квантовой механики в импульсном пространстве приобретают более простой и изящный вид, заставляет задуматься о его реальности, бытийности, существовании соответствующего ему референта в реальности. Однако в рамках старой, декартовской парадигмы бытия вопрос о соответствующей интерпретации этого принципа даже не может быть осмысленно поставлен. Говоря точнее, здесь он всегда будет оставаться как раз чисто формальным и удобным описательным принципом, который неизвестно что скрывает. Вычленение этого принципа и его адекватное истолкование возможно лишь в рамках той парадигмы, которая будет рассматриваться далее в данной работе.

ГЛАВА II

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И ПОНЯТИЕ РЕАЛЬНОСТИ

§ 1. ЭПР-парадокс

Особенности квантовой механики, выделенные в первой главе, еще не дают возможности увидеть «ясно и отчетливо», как они сами по себе изменяют наши понятия о реальности. Несмотря на то, что формальный математический аппарат квантовой теории был полностью создан к началу 30-х гг. прошлого века, для большинства физиков осознание того факта, что он требует и радикального пересмотра понятия реальности, пришло далеко не сразу. Решающую роль в последовавших дискуссиях вокруг квантовой механики сыграл знаменитый ЭПР-парадокс.

Работа по ЭПР-парадоксу появилась в 1935 г. и касалась непосредственно проблемы физической реальности (как ее понимал Эйнштейн) и полноты ее описания в рамках квантово-механического формализма. Результаты дискуссий, вызванных этой работой, трудно переоценить. Они касались практически всех других аспектов квантовой механики, как уже обсуждавшихся выше, так и других, а именно целостности и нелокальности, — а также инициировали в дальнейшем работы Белла [Bell, 1964], что и привело к опытам Аспека [Aspect, 1982] и «экспериментам с задержанным выбором».

В этой главе мы постараемся проследить, как исторически развертывалась полемика о новой реальности от первых дискуссий вокруг EPR-парадокса до сегодняшних дней. Мы проследим лишь основные, узловые вехи этого пути. Полный обзор вряд ли возможен в рамках одной работы, поскольку число публикаций на эту тему просто необозримо.

То, что квантовая механика несовместима с классическими представлениями о действительности, ее творцам было ясно с самого начала, как

только стал формироваться законченный математический аппарат квантовой механики. Так, еще в Вернер Гейзенберг в работе 1925 г., посвященной согласованию хорошо известного экспериментального закона излучения атома с законом движения электрона в нем, пришел к ошеломляющему результату: электрон при своем движении в атоме не может обладать определенной траекторией. «В квантовой теории, согласованной с комбинационным принципом Ритца, не может быть классического понятия о траектории электрона внутри атома (*in der Quantentheorie nicht möglich war, dem Elektron einen Punkt im Raum als Funktion der Zeit mittels beobachtbarer Größen zuzuordnen*)» [Heisenberg, 1925]. Точнее говоря, Гейзенберг показал, что если попытаться согласовать закон излучения атома с движением электрона, то при этом описании должны реализоваться сразу (!) все возможные траектории. Фактически он получил принцип суперпозиции, т. к. электрон при своем движении должен двигаться по всем траекториям одновременно!

Эйнштейн первоначально пытался показать ошибочность новой атомной теории, но, после безуспешных десяти лет опровержений, в 1935 г. со своими сотрудниками Подольским и Розеном попытался показать, что квантовое описание не является полным¹.

В совместной статье трех авторов предварительно формулируется определение полноты теории. «Каждый элемент физической реальности должен иметь отражение в физической теории» [Einstein, Podolsky, Rosen, 1935]. После этого дается понимание физической реальности по Эйнштейну: «Если мы можем без какого бы то ни было возмущения системы предсказать с достоверностью (т. е. с вероятностью, равной единице) значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине» [Там же. Р. 777].

Авторы рассматривают состояние квантовой системы, полностью характеризующейся волновой функцией Ψ . Для простоты рассматривается случай одного измерения и полагается

$$\Psi = e^{p_0 x}, \quad (1.1)$$

где p_0 — некоторое постоянное число. Так как оператор, соответствующий импульсу частицы, равен

$$p = -i\hbar \partial/\partial x, \quad (1.2)$$

то

$$\Psi' = p\Psi = -i\hbar (\partial\Psi/\partial x) = p_0\Psi. \quad (1.3)$$

Следовательно, в состоянии, определяемом уравнением (1.1), импульс частицы с достоверностью имеет значение p_0 .

¹ Заметим, что уже в 1936 г. эта работа была переведена и опубликована при участии В. А. Фока в «Успехах физических наук».

В квантовой механике каждой физически наблюдаемой величине A ставится в соответствие некий оператор. Так, если Ψ есть собственная функция оператора A , т. е.

$$\Psi' = A\Psi = a\Psi, \quad (1.4)$$

где a — число, то физическая величина A имеет с достоверностью значение a , коль скоро частица находится в состоянии Ψ . Согласно эйнштейновскому определению реальности, для частицы в состоянии Ψ существует элемент физической реальности, соответствующий физической величине A . Если же уравнение (1.4) не выполняется, то нельзя говорить о том, что физическая величина имеет определенное значение. Так например обстоит дело с координатой частицы. Оператор Q , соответствующий координате, есть просто оператор умножения на независимую переменную,

$$Q\Psi = x\Psi \neq a\Psi. \quad (1.5)$$

Мы можем сказать только, что относительная вероятность того, что при измерении получим результат, лежащий между a и b ,

$$P(a, b) = \int \Psi^* \Psi dx = b - a. \quad (1.6)$$

Эта относительная вероятность не зависит от a , а зависит только от разности $b - a$. Из этого следует, что все значения координаты равноправны. «Обычно в квантовой механике из этого делается вывод: если количество движения частицы известно, то ее координата не имеет физической реальности. В квантовой механике доказывается и более общее положение: если операторы, соответствующие двум физическим величинам, скажем A и B , не коммутируют, т. е. если $AB \neq BA$, то точное знание одной из этих величин исключает точное знание другой. Кроме того, каждая попытка экспериментально определить вторую величину изменит состояние таким образом, что уничтожит знание первой» [Einstein, Podolsky, Rosen, 1935].

Сопоставляя это утверждение со своим определением реальности, авторы приходят к выводу, что

- 1) или квантовое описание реальности неполно;
- 2) или, когда операторы, соответствующие двум физическим величинам, не коммутируют, эти величины не могут одновременно быть реальными.

Остановимся на доказательстве такого вывода более подробно. Квантовая теория предполагает, что с помощью волновой функции действительно дается полное описание физической реальности для системы в состоянии, которому она соответствует. Это представляется приемлемым, «так как сведения, которые можно вывести из знания волновой функции, кажутся точно соответствующими тем, которые можно получить при по-

мощи измерений, не изменяя состояния системы» [Einstein, Podolsky, Rosen, 1935].

Авторы пытаются показать, что это противоречит принятому ими определению реальности. Они анализируют сложную систему, состоящую из двух подсистем I и II. Эти системы взаимодействуют от момента $t = 0$ до $t = T$. Предполагается, что состояния обеих систем до момента $t = 0$ были известны. Поведение сложной системы I + II в любой момент времени определяется уравнением Шредингера, т. е. в любой момент времени $t > 0$ известна волновая функция большой системы $\Psi(x_1, x_2)$. Зададимся вопросом: что можно сказать о состоянии каждой из подсистем для $t > T$? Авторы статьи утверждают, что «... мы не можем... вычислить того состояния, в котором каждая из двух систем остается после взаимодействия. Согласно квантовой механике это состояние может быть найдено только с помощью последующих измерений, путем процесса, известного под названием „редукции волнового пакета“» [Einstein, Podolsky, Rosen, 1935].

Процесс редукции волновой функции описывается следующим образом. «Пусть A — физическая величина, относящаяся к первой подсистеме, a_1, a_2, a_3, \dots и $u_1(x_1), u_2(x_1), u_3(x_1), \dots$ — собственные числа и собственные векторы оператора A . Волновую функцию $\Psi(x_1, x_2)$ можно представить в форме

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum u_n(x_1) \psi_n(x_2). \quad (1.7)$$

Предположим, что величина A измерена, причем найдено, что она имеет значение a_k . Отсюда выводят заключение, что после измерения первая система остается в состоянии с волновой функцией $u_k(x_1)$, тогда как вторая система остается в состоянии с волновой функцией $\psi_k(x_2)$. Это и есть процесс редукции, или сведения, волнового пакета: волновой пакет, даваемый бесконечным рядом (1.7), сводится к одному слагаемому $\psi_k(x_2)u_k(x_1)$ » [Einstein, Podolsky, Rosen, 1935].

Однако функции $u_n(x_1)$ определяются выбором физической величины A . Мы можем выбрать другую величину, например B ; которая имеет собственные значения b_1, b_2, b_3, \dots и собственные функции $v_1(x_1), v_2(x_1), v_3(x_1) \dots$. В этом случае вместо разложения (1.7) получим

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum v_s(x_1) \phi_s(x_2). \quad (1.8)$$

Если мы измерим эту величину B и найдем, что ее значение равно b_r , то после этого заключаем, что после измерения первая система остается в состоянии, которое описывается функцией $v_r(x_1)$, а вторая система остается в состоянии, которое описывается $\phi_r(x_2)$.

Авторы весьма обстоятельной книги «Квантовая телепортация — обыкновенное чудо», детально анализирующие EPR-парадокс, справедливо замечают, что Эйнштейн, Подольский и Розен «принимают, как очевидное,

утверждение: существует вполне определенное состояние каждой из подсистем (с которым можно сопоставить Ψ -функцию) при заданном состоянии большой системы» [Белокуров и др., 2000. С. 116]. К анализу этого молчаливого предположения мы еще вернемся, здесь же отметим, что оно и приводит собственно к парадоксу, а точнее, к противоречию с классическим способом «видения вещей». Приняв же это предположение, авторы EPR-парадокса немедленно приходят к выводу: «в результате двух различных измерений, произведенных над первой системой, вторая система может оказаться в двух разных состояниях, описываемых различными волновыми функциями. С другой стороны, так как во время измерения эти две системы не взаимодействуют, то в результате каких бы то ни было операций над первой системой, во второй уже не может получиться никаких реальных изменений. Это, конечно, является лишь другой формулировкой того, что понимается под отсутствием взаимодействия между двумя системами. Таким образом, одной и той же реальности (вторая система после взаимодействия с первой) можно сопоставить две различные волновые функции (в нашем примере ψ_k и ϕ_l).

Но ведь может случиться, что две волновые функции ψ_k и ϕ_l являются собственными функциями двух некоммутирующих операторов P и Q , причем ψ_k соответствует собственному значению p_k , а ϕ_l соответствует собственному значению q_l .

В таком случае, измерив A и B , мы будем в состоянии предсказать с достоверностью и без какого то ни было возмущения второй величины или значение P (т. е. p_k), или значение величины Q (т. е. q_l).

Согласно нашему критерию реальности, в первом случае элементом реальности будет величина P , а во втором случае элементом реальности будет величина Q . Но, как мы видели, обе волновые функции ψ_k и ϕ_l относятся к одной и той же реальности» [Einstein, Podolsky, Rosen, 1935].

Свой общий результат авторы иллюстрируют на примере двух частиц с одной степенью свободы и, исходя из выводов, которые был сделан выше, они и приходят к заключению (еще раз повторим), что или

- 1) квантовое описание реальности неполно или
- 2) когда операторы, соответствующие двум физическим величинам, не коммутируют, эти величины не могут одновременно быть реальными.

Исходя из предположения, что волновая функция дает полное описание физической реальности, они приходят к выводу, «что две физические величины с некоммутирующими операторами не могут быть реальными одновременно. Таким образом, отрицание предположения 1 приводит к отрицанию единственного остающегося предположения 2. Итак, мы вынуждены заключить, что квантово-механическое описание физической реальности посредством волновых функций не является полным» [Einstein, Podolsky, Rosen, 1935].

Итак, основной вывод авторов таков: квантовая механика неполна и основной ее недостаток находится в том, что несовместимость (некоммутируемость) канонически сопряженных операторов может нарушаться при сужении сложной системы на подсистему.

§ 2. Анализ EPR-парадокса

До появления статьи Эйнштейна, Подольского и Розена в дискуссиях, касающихся фундаментальных проблем квантовой механики, принимало участие сравнительно малое число лиц. После 1935 г. критическое отношение Эйнштейна к взглядам на квантовую механику, разделявшееся многими физиками, особенно старшего поколения, переместилось в центр внимания научной общественности. И все же наиболее фундаментальные работы были выполнены основными участниками старой дискуссии.

Одним из первых откликнулся Бор. Розенфельд, который в то время был ассистентом Бора, вспоминал: «Эта атака обрушилась на нас как гром среди ясного неба. Новая забота пришла в самое неподходящее время. Тем не менее, как только Бор услышал мой пересказ доводов Эйнштейна, всё остальное было отложено в сторону» [цит. по Белокуров и др., 2000. С. 119].

«Уже 29 июня 1935 года Бор послал письмо редактору журнала „Nature“. В письме отвергалось предложенное в EPR определение физической реальности, на том основании, что оно становится неопределенным, будучи примененным к задачам атомной физики, и сообщалось, что подробное обсуждение проблемы, детали которого должны быть опубликованными в „Physical Review“, показывает, что в определение физической реальности следует включить и процедуру измерения соответствующих величин» [Белокуров и др., 2000. С. 119]. Действительно, в 1935 году в «Physical Review»¹ был опубликован полный анализ EPR-парадокса, в центре которого стоял принцип дополнительности Бора. На русском языке статья Бора (как и статья Эйнштейна, Подольского и Розена) была опубликована уже в 1936 г. при активном участии В. А. Фока в «Успехах физических наук»². Ответы Бора на русском языке вышли также в его «Избранных научных трудах»³ и в сборнике «Философские проблемы современной науки»⁴. На последнюю публикацию (как ФПСН) мы и будем ссылаться при дальнейшем изложении.

Бор начинает свое изложение EPR-парадокса с определения реальности, данного его авторами. Он подчеркивает элегантное изложение квантово-механического формализма, касающегося представления системы,

¹ Bohr N. The Physical Review, 1935, vol. 48. P. 696.

² Успехи Физических Наук, т. 16, вып. 4.

³ Бор Н. Избранные научные труды. М.: Наука, 1971. Т. 2.

⁴ Философские проблемы современной науки. М.: Наука, 1962.

образованного двумя подсистемами, и вовсе не опровергает математическую сторону дела. С точки зрения Бора, «однако, такая аргументация представляется вряд ли пригодной, чтобы затронуть обоснованность квантово-механического описания, опирающегося на последовательный математический формализм, автоматически охватывающий любую измерительную процедуру... Кажущееся противоречие фактически обнаруживает только существенную непригодность обычной точки зрения естествознания для рационального объяснения явлений того типа, с которым имеют дело в квантовой механике. В самом деле, конечность взаимодействия между объектом и измерительными приборами, обусловленная самим существованием кванта действия, делает необходимым — ввиду невозможности учета реакции объекта на измерительные приборы... — окончательный отказ от классического идеала причинности и *радикальный пересмотр нашей позиции в отношении физической реальности* (курсив мой — А. С.). Фактически, как мы увидим, критерий реальности, подобный предложенному названными авторами, содержит — какой бы осторожной ни могла казаться его формулировка — существенную неоднозначность, когда он применяется к действительным проблемам, с которыми мы здесь имеем дело» [ФПСН: С. 212–213].

Анализ Бором ЭПР-парадокса возвращает к простым примерам, затронутым в его дискуссиях с Эйнштейном несколькими годами ранее на Сольвеевских конгрессах. В то время Эйнштейн показывал, что, опираясь на квантовое описание, приходится отказываться от классического описания явлений в пространстве и времени, и это вызывало у него глубокое беспокойство. Для иллюстрации он рассматривал простой пример. Пусть частица (электрон или фотон) проходит сквозь отверстие или щель в диафрагме, размещенной на некотором расстоянии от фотопластинки. «В этих условиях при расчете дифракции волн, связанных с движением частицы, невозможно предсказать с определенностью, в какую точку фотопластинки попадет электрон, а можно только вычислить вероятность того, что в некотором эксперименте электрон будет найден внутри некоторой области на пластинке. Несомненную трудность в этом описании, которую Эйнштейн ощутил столь быстро, представляет тот факт, что если в эксперименте электрон регистрируется в одной точке А пластинки, тогда даже не может быть и речи о наблюдении влияния этого электрона в другой точке (В), хотя законы распространения обычных волн не дают оснований для корреляции между двумя такими событиями» [ФПСН: С. 190–191].

В то время дискуссии сосредоточились на вопросе, исчерпывает ли квантовое описание все возможности наблюдаемых явлений или, как утверждал Эйнштейн, анализ можно было бы провести более глубоко, и, в особенности, можно ли получить более полное описание явлений, учитываемая при рассмотрении детальный баланс энергии и импульса в индивидуальных процессах. Говоря более точно, Эйнштейн поставил такой вопрос:

«до какой степени учет переноса энергии и импульса при локализации частицы в пространстве и во времени можно использовать для дальнейшего уточнения состояния частицы после прохождения ею отверстия» [ФПСН. С. 193]. Бор показывает, что, «как только мы пожелаем узнать импульс и энергию... частей измерительного устройства с точностью, достаточной для учета обмена импульсом и энергией с исследуемой частицей, мы потеряем, в согласии с общим соотношением неопределенности, возможность точной их локализации в пространстве и времени» [ФПСН. С. 193]. Бор поэтому предлагает исследовать, в какой мере на это обстоятельство повлияет *использование всего устройства*, и показывает в дальнейшем, что этот момент ясно выявляет дополнительный характер явлений.

Так, если рассмотреть простое устройство, рассмотренное Эйнштейном (диафрагма и фотопластинка), там не уточнялось, как предполагается его использовать. Однако если предположить, что диафрагма и пластинка имеют точно определенное положение в пространстве, тогда невозможно будет делать, в рамках квантово-механического формализма, более точные предсказания относительно точки фотопластинки, в которой будет зафиксирована частица. Если же мы не будем интересоваться положением диафрагмы, то, в принципе, можно было бы учесть передачу импульса диафрагме и тем самым сделать более точные предсказания относительно направления траектории электрона от отверстия до точки регистрации. С точки зрения квантово-механического описания здесь идет речь о системе двух тел: диафрагмы и частицы.

Далее Бор отмечает, что важность соображений такого рода выявилась в ходе дискуссий наиболее интересным образом при рассмотрении устройства, в котором между диафрагмой со щелью и фотопластинкой вставлена другая диафрагма — с двумя параллельными щелями. Именно такое устройство и имеет непосредственное отношение к рассматриваемому ЭПР-парадоксу. «Если параллельный пучок электронов (или фотонов) падает слева на первую диафрагму, мы будем наблюдать, при обычных условиях, на пластинке интерференционную картину, выявляемую потемнением фотопластинки... В случае интенсивных пучков эта картина возникает в результате накопления большого числа индивидуальных процессов, каждому из которых соответствует маленькое пятнышко на фотопластинке, и распределение этих пятнышек следует простому закону, который можно вывести согласно волновой теории. То же распределение было бы также получено как статистический итог ряда экспериментов, выполненных с пучками столь слабыми, что за время одной экспозиции на фотопластинку попадает только один электрон или фотон. Поскольку теперь импульс, переданный первой диафрагме, будет, вероятно, различным, в зависимости от того, прошел ли электрон через верхнюю или нижнюю щель второй диафрагмы, Эйнштейн полагал, что учет передачи импульса позволит более точно проанализировать явление и, в частности, решить,

через какую из двух щелей электрон прошел, прежде чем достиг пластинок» [ФПСН. С. 194–195].

Бор, проанализировав это явление, показывает, что предложенный Эйнштейном учет передачи импульса будет связан с неопределенностью в знании положения диафрагмы, которая исключит появление обсуждаемых интерференционных явлений. «Действительно, если ω — малый угол между предполагаемыми путями частицы через верхнюю или нижнюю щель, разница в передаваемом импульсе в этих двух случаях будет... равна $\hbar\sigma\omega^1$, и любой учет импульса диафрагмы с точностью, достаточной для измерения этой разницы, будет вследствие принципа неопределенности связан с минимальной неоднозначностью положения диафрагмы, сравнимой с $1/\sigma\omega$. Если... диафрагма с двумя щелями помещена посередине между первой диафрагмой и фотопластинкой, то можно показать, что число дифракционных полос на единицу длины экрана будет как раз равно $\sigma\omega$ и, поскольку неопределенность в положении первой диафрагмы порядка $1/\sigma\omega$ вызывает такую же неопределенность в положении полос, это приведет к тому, что никакие интерференционные эффекты появиться не смогут. Легко показать, что тот же результат получится для всякого другого положения второй диафрагмы между первой диафрагмой и пластинкой и что он останется справедливым, если вместо первой диафрагмы использовать для учета передачи импульса в предложенных целях другое из этих трех тел.

Этот момент имеет огромное логическое значение, поскольку то обстоятельство, что мы поставлены перед выбором *или* проследить путь частицы, *или* наблюдать интерференционные эффекты, позволяет нам избежать парадоксальной необходимости заключить, что поведение электрона или фотона зависит от наличия в диафрагме щели, через которую, как можно доказать, он не проходил» [ФПСН. С. 195–196].

Бор делает вывод, что здесь мы имеем дело с типичным примером «дополнительности» явлений, когда вынуждены применять взаимно исключающие устройства. В этой ситуации при анализе квантовых явлений невозможно провести сколько-нибудь «резкое разграничение между независимым поведением атомных объектов и их взаимодействием с измеряющими приборами, служащими для определения условий, при которых явления имеют место» [ФПСН. С. 196].

Именно в этих дискуссиях проявилось известное юмористическое настроение Эйнштейна, когда он спрашивал участников дискуссии, в самом ли деле они думают, что Провидение играет в кости («...ob der liebe Gott würfelt»).

Рассмотренная выше ситуация имеет непосредственное отношение, как замечает Бор, к EPR-парадоксу. В качестве двух частей системы мож-

¹ Где σ — число волн на единицу длины.

но взять частицу и диафрагму, и тогда возможность конкретизации состояния частицы при помощи измерений над диафрагмой как раз соответствует только что рассмотренной выше. После того как частица прошла через диафрагму, в принципе можно выбрать для измерения или положение диафрагмы, или ее импульс и в каждом случае сделать предсказание относительно последующих наблюдений над частицей. Принципиальный момент (и Бор это подчеркивает) состоит в том, что такие измерения требуют исключаящих экспериментальных устройств.

Нильс Бор, таким образом, подытоживает свой анализ (приведем этот отрывок, хотя он и достаточно большой, полностью):

«С нашей точки зрения, мы видим теперь, что формулировка вышеупомянутого критерия физической реальности, предложенного Эйнштейном, Подольским и Розеном, содержит неоднозначность в отношении смысла выражения „никоим образом не возмущая системы“. Конечно, в случае, подобном только что рассмотренному, о механическом возмущении исследуемой системы в течение последней критической стадии процедуры измерения не может быть и речи. Но даже на этой стадии существует вопрос о влиянии самих условий, определяющих возможные типы предсказаний относительно будущего поведения системы. Поскольку эти условия образуют исходный элемент описания всякого явления, к которому понятие „физическая реальность“ имеет смысл применять, мы видим, что аргументация упомянутых авторов не оправдывает их заключения, что квантово-механическое описание существенно неполно. Напротив, это описание, как явствует из предыдущего обсуждения, может быть охарактеризовано как рациональное использование в области квантовой теории всех возможностей недвусмысленной интерпретации измерений, совместимое с конечным и неконтролируемым взаимодействием между объектами и измерительными приборами. Фактически только взаимное исключение любых двух экспериментальных процедур, которые позволили бы недвусмысленно определить „дополнительные“ физические величины, освобождает место для новых физических законов, сосуществование которых может быть на первый взгляд показаться несовместимым с основными принципами науки. Именно эту существенно новую ситуацию в отношении описания физических явлений имеет целью охарактеризовать понятие „дополнительности“» [ФПСН. С. 214].

Интересно, что позднее (в 1951 г.), касаясь этой аргументации, относящейся к 1935 г., Бор отметил «неудовлетворительность формулировок, которая не позволяет ощутить общее направление аргументации. Имелось в виду выявить существенную неоднозначность ссылок на физические свойства объектов, если рассматривать явления, в которых четкое разделение между поведением объектов самих по себе и их взаимодействием с измерительными приборами провести нельзя» [ФПСН. С. 214].

При перечитывании сейчас этих строк Бора и целого ряда других авторов, действительно возникает чувство не просто «неудовлетворительности формулировок», но и того, что упускается нечто особенно важное при рассмотрении этих явлений. Да, нельзя рассматривать поведение объектов самих по себе вне их взаимодействия с измерительными приборами. Да, проявляется свойство «дополнительности». Да, понятие «физической реальности» надо пересматривать. Но как? У Бора, например, об этом ничего не говорится. Видимо, здесь сказался тот самый принцип запрета копенгагенской формулировки, не позволяющий спрашивать: а что же стоит за квантовым явлением?

Парадоксально, но создается впечатление, что критик квантовой теории Эйнштейн в то время видел более ясно, к каким изменениям она ведет. Другое дело, что он этого не принимал, и отсутствие аргументов против теории квантов беспокоило его до конца жизни. Так, физик Пайс (A. Pais) вспоминал позднее: «Мы часто обсуждали его мнение насчёт объективной реальности. Мне помнится, как однажды во время прогулки Эйнштейн неожиданно остановился, повернулся ко мне и спросил, действительно ли я считаю, что луна существует лишь тогда, когда я на неё смотрю»¹.

Этот принцип зависимости наблюдаемого явления (так противоречащий классическому мировидению Эйнштейна) тесно связан с принципом локальности.

Чтобы проиллюстрировать это утверждение, обратимся к еще одной работе 1935 г., на этот раз Шредингера. Она носит название «Современная ситуация в квантовой механике» (см. [Schrödinger, 1996]). Именно в ней появился ставший позднее знаменитым т. н. «парадокс кота Шредингера», который очень наглядно демонстрирует определенные особенности квантовой механики.

«Можно сконструировать совершенно шутовской (burleske) пример. Кошка запирается в стальную камеру, вместе со следующей адской машиной (которая должна быть защищена от кошки): в счетчике Гейгера находится незначительное количество радиоактивного вещества, настолько маленького, что в течение одного часа может распасться один из атомов, но с той же вероятностью может не распасться ни один. Если атом распадается, то срабатывает счетчик Гейгера и приводит в действие реле с молоточком, который разбивает колбочку с синильной кислотой. Если всю эту систему предоставить самой себе в течение одного часа, то говорится, что кошка еще жива, если за это время не распался ни один атом. Первый же атомный распад должен был бы её отравить. Ψ-функция полной системы выразила бы это тем, что живая и мертвая кошка (с позволения сказать) смешаны или размазаны в одинаковых пропорциях» [Schrödinger, 1996. S. 25].

¹ *Reviews of Modern Physics*. LI. 863 (1979): 907.

Все дело в том, что до измерения квантовая система действительно находится в особом смешанном состоянии (подробнее см. ниже), что по-немецки звучало бы как «Verschränkung» и что на английский язык было переведено как «entanglement». Части сложной системы могут разойтись сколь угодно далеко друг от друга и до момента измерения находятся именно в таком смешанном состоянии (живая + мертвая кошка). После же измерения каждая из подсистем обнаруживается во вполне определенном состоянии, что и вызывает вопросы о причинности и локальности в квантовой механике, — что, собственно, и волновало Эйнштейна.

§ 3. Неравенство Белла

Физика — наука экспериментальная, и на вопрос о том, кто прав в споре Эйнштейна и Бора, ответ может дать только эксперимент. Интересно, что сам Эйнштейн, по-видимому, в то время такой возможности не видел. «Мне кажется, не подлежит сомнению, — писал он, — что физики, которые считают квантово-механический способ описания принципиально окончательным..., откажутся от требования... о независимом существовании имеющих в различных областях пространства физических реальностей; они могут с полным правом ссылаться на то, что квантовая теория явно нигде не применяет это требование» [Эйнштейн, 1966. С. 615].

То, что экспериментальная проверка возможна, показала работа физика-теоретика Джона Стюарта Белла «О парадоксе Эйнштейна—Подольского—Розена» [Bell, 1964], появившаяся в 1964 г. Эта небольшая работа, на наш взгляд, и дала возможность количественного выражения необычных особенностей квантового мира и проверки их в эксперименте. Во многом она является ключевой, хотя оценки, данные этой работе физиками, прямо противоположны. Так, Дж. Баб, бывший в одно время сотрудником Д. Бора, утверждал, что результат Белла тривиален, а эксперимент по проверке его неравенств «не доказывает ничего нового для теоретика» [Bub, 1974. P. 83]. Лошак, ученик де Бройля, касаясь проблемы теории со скрытыми параметрами (о чем у нас речь пойдет впереди), также отмечал, что результат Белла не содержит ничего нового [Lochak, 1976. P. 173].

С другой стороны, известный физик-теоретик Д'Эспанья отметил важность результата Белла, указав, что он впервые открыл возможность «прямой экспериментальной проверки общих концепций, лежащих в основе всей современной микрофизики» [D'Espagnat, 1975. P. 1424]. Американский исследователь А. Шимони считает, что после двух статей Белла 1964 и 1966 гг. стало окончательно ясно, что будущие физические теории уже никогда не вернуться к концептуальным рамкам классической физики. «Физическое значение неравенств Белла, — пишет он, — заключается, по мо-

ему, в том, что они допускают почти решающую проверку картин мира, отличающихся от картины мира квантовой механики. Это, безусловно, не подразумевает, что квантовая механика, как она теперь формулируется, никогда не будет вытеснена или улучшена какой-либо новой физической теорией. Но хотя лишь горсточка квантово-механических предсказаний (это утверждение относится к 1984 г., в настоящем это десятки экспериментов — А. С.) проверяется в корреляционных экспериментах, эта горсточка не должна недооцениваться, ибо она относится к наиболее чувствительным точкам столкновения картин мира. Подтверждение предсказаний квантовой механики в этих точках и не подтверждение в них того или иного неравенства Белла дают сильные основания оценки будущих физических теорий: любая теория, которая сменит и улучшит квантовую механику, сохранит неопределенность возможностей, фундаментальную роль случайностей и связанность систем» [Shimony, 1984. P. 35].

По нашему мнению, несмотря на всю простоту и даже некую тривиальность результатов Белла (Дж. Баб), именно они стали ключевыми для судьбы интерпретаций квантовой механики и их опытной проверки. Однако (согласимся здесь с мнением В. И. Аршинова [см. Аршинов, 1984]) адекватное понимание результатов этой работы возможно лишь в рамках тех предположений, которые ей соответствовали.

Работа Белла появилась в связи с его исследованиями моделей теорий со скрытыми параметрами. Квантовая механика, как известно, является теорией вероятностного типа. Например, если вернуться к экспериментам, рассматриваемым в дискуссиях Бора и Эйнштейна, то она не предсказывает точного места попадания микрочастицы на фотопластинку. Мы можем вычислить лишь вероятность этого события. «Отсюда возникает предположение, что квантовомеханическое описание физической системы с помощью волновой функции не является полным описанием „реального положения вещей“ и что существуют некоторые дополнительные гипотетические переменные, которые „скрыты“ от нас, т. е. недоступны наблюдению и контролю с помощью имеющихся у нас экспериментальных средств. Фиксация этих переменных позволила бы точно предсказывать место попадания электрона на фотопластинку и дала бы тем самым возможность восстановить детерминизм классического типа при описании квантовых явлений» [Аршинов, 1984. С. 215]. Белл ставил знак равенства между концепцией скрытых параметров и «поиском „объективной формы описания квантовых явлений“, и был склонен ошибочно зачислять Эйнштейна в сторонники идеи скрытых параметров. Правда, эта ошибка оказалась с эвристической точки зрения для Белла плодотворной..., но, тем не менее, следует подчеркнуть, что Эйнштейн не был защитником идеи скрытых параметров» [Аршинов, 1984. С. 217–218].

Другой аспект неравенств Белла касается локальности теорий. Для того чтобы разобраться, в чем здесь дело, необходимо рассмотреть вы-

вод самих этих неравенств, который, вообще говоря, действительно тривиален.

Рассматривается пара ЭПР-частиц, например, синглетная система двух электронов или протонов, находящихся первоначально в связанном состоянии с общим нулевым спином, а затем расходящихся на произвольно большое расстояние, где они могут рассматриваться как не взаимодействующие. Они могут достичь областей, отделенных друг от друга пространственно-подобным интервалом, что исключает, согласно специальной теории относительности, динамическую причинную связь между ними. В этих областях имеется измерительная установка, позволяющая измерять проекции спинов частиц.

Между компонентами спинов этих двух частиц существует строго «негативная» корреляция. Векторы спина можно спроецировать на произвольное направление в пространстве. Одним из квантовых свойств спинового состояния является то, что спиновая компонента может иметь только одно из двух значений; при этом абсолютно все равно, какую из осей выбирают. Пусть после измерения у одной частицы найдут ориентацию, направленную «вверх» или *по направлению* некоторой выбранной оси. Тогда у другой частицы обязательно будет ориентация «вниз». Далее будем такие состояния условно обозначать значками «+» и «-» соответственно. Заранее, однако, нельзя предсказать, какие частицы имеют «позитивную» и какие «негативную» компоненты. Измерительный прибор делается так, что компоненту импульса можно измерять вдоль трех любых выбранных осей пространства, которые мы будем обозначать A , B и C . В синглетном состоянии готовится множество частиц, и все они направляются к этим приборам, где друг за другом измеряются компоненты спина этих частиц. Результаты одиночного измерения будем обозначать следующим образом: если при измерении компонента спина вдоль оси A получила значение «+», то будем обозначать ее как A^+ . Итак, если измеряется компонента вдоль направления A , то одни частицы будут иметь спиновую компоненту A^+ , другие A^- . Точно так же можно измерить компоненты спина вдоль других осей пространства B и C . Из экспериментов известно, что одновременно нельзя измерить все эти компоненты. Можно спросить себя: существуют ли эти компоненты «сами по себе» или, может быть, наша установка (макроскопический измерительный прибор) в силу тех или иных причин просто не дает возможности одновременно их измерить.

Проведем следующий мысленный эксперимент. *Предположим, что эти характеристики существуют «сами по себе».* Снова измеряются компоненты спина частиц, находившихся сперва в синглетном состоянии, вдоль осей A , B и C , но какая из компонент измеряется — зависит от случая. Измерения, в которых случайно измеряются компоненты вдоль одной оси, не учитываются. У пар частиц измеряются компоненты вдоль осей A и B , или A и C , или B и C . Будем обозначать такие пары AB , AC и BC . Пару, у

которой для протона были измерены A^+ и B^+ , обозначим как A^+B^+ и для числа таких пар будем писать $n[A^+B^+]$.

Имеется ли для частоты, с которой встречаются различные пары, какая-нибудь зависимость? В 1964 г. Белл как раз и доказал, что такая зависимость существует. Его теорема показывает, что если мы принимаем условия, рассмотренные выше, то число пар A^+B^+ не может быть больше, чем сумма чисел других пар A^+C^+ и B^+C^+ :

$$n[A^+B^+] \leq n[A^+C^+] + n[B^+C^+].$$

Это соотношение и называется неравенством Белла. Оно легко доказывается с помощью теории множеств. Будем следовать в дальнейшем изложению выкладок, как они представлены в статье Д'Эспанья «Квантовая теория и реальность» [D'Espagnat, 1996].

Предположим, что можно было бы измерить две компоненты спина одной частицы. Такое предположение противоречит фактам, но облегчает формулировку доказательства. Пусть регистрируются компоненты спина A^+ и B^- . Третья компонента C может иметь тогда значение «+» или «-». Полное число соответствующих частиц обозначим либо $A^+B^-C^+$, либо $A^+B^-C^-$. Для полного числа частиц с компонентой A^+B^- можно написать уравнение

$$N(A^+B^-) = N(A^+B^-C^+) + N(A^+B^-C^-).$$

Символ $N(A^+B^-)$ обозначает число частиц с компонентами спина A^+ и B^- и не должен путаться с числом $n[A^+B^-]$, дающим число пар, в которых одна частица имеет компоненту A^+ , а другая B^- .

Частица, у которой нашли компоненту спина A^+C^- , должна быть элементом множества $A^+B^+C^-$ или $A^+B^-C^-$, т. е. третья компонента может иметь только значение «+» или «-», и поэтому должно быть верно равенство

$$N(A^+C^-) = N(A^+B^+C^-) + N(A^+B^-C^-).$$

Теперь мы можем сделать следующий шаг. Число протонов $N(A^+C^-)$ всегда больше, чем $N(A^+B^-C^-)$, если для компоненты вдоль оси B измеряется значение B^+ и B^- и если, конечно же, величина $N(A^+B^-C^-)$ не равна нулю. Следовательно, верны следующие неравенства:

$$N(A^+C^-) \geq N(A^+B^+C^-)$$

$$N(A^+C^-) \geq N(A^+B^-C^-).$$

Точно так же можно доказать, что

$$N(B^-C^+) = N(A^+B^-C^+) + N(A^-B^-C^+).$$

И, следовательно, также

$$N(B^-C^+) \geq N(A^+B^-C^+).$$

Давайте вновь рассмотрим уравнение

$$N(A^+B^-) = N(A^+B^-C^+) + N(A^+B^-C^-).$$

Мы только что показали, что $N(B^-C^+)$ больше или по крайней мере равно $N(A^+B^-C^+)$ и $N(A^+C^-)$ больше или равно $N(A^+B^-C^-)$. Поэтому сумма

$$N(A^+B^-C^+) + N(A^+B^-C^-)$$

меньше или равна суммы

$$N(B^-C^+) + N(A^+C^-),$$

и, следовательно, выполняется неравенство:

$$N(A^+B^-) \leq N(A^+C^-) + N(B^-C^+).$$

Для того чтобы это неравенство проверить экспериментально, используют корреляцию, которая имеется между частицами в синглетном состоянии, т. к. мы упоминали, что не существует инструмента, который бы позволял измерять независимо друг от друга две компоненты спина. Для одного партнера пары устанавливают значение компоненты спина A , а для другого значение компоненты спина B . Предположим, что результаты измерения дали значения A^+ и B^+ . Измерение компоненты спина второй частицы содержит (из-за негативной корреляции обеими частицами) дополнительную информацию о первой частице: т. к. у второй частицы была измерена компонента спина B^+ , то первая частица обязательно имеет компоненту спина B^- .

Наблюдение пары частиц, в которой один партнер имеет компоненту спина A^+ и другой компоненту B^+ , может означать указание на существование частицы с компонентами A^+B^- . Из статистической аргументации следует, что число пар $n[A^+B^+]$, в которых один партнер имеет компоненту A^+ , а другой B^+ , должно быть пропорционально $N(A^+B^-)$, стало быть, и числу частиц с компонентами A^+ и B^- . Соответственно число пар $n[A^+C^+]$ должно быть пропорционально числу $N(A^+C^-)$, и число $n[B^+C^+]$ должно быть пропорционально $N(B^-C^+)$. Коэффициент пропорциональности должен быть во всех случаях одинаковым. Для единичной частицы, над которой мы производили гипотетическое двойное измерение, мы доказали неравенство

$$N(A^+B^-) \leq N(A^+C^-) + N(B^-C^+).$$

Из этого уравнения и только что указанной пропорциональности следует:

$$n[A^+B^-] \leq n[A^+C^-] + n[B^-C^+].$$

Естественно, это неравенство верно только при тех предположениях, при которых оно выводилось, а именно, что измеряемые характеристики

существуют «сами по себе». Выведенное неравенство показывает результаты эксперимента, который можно реально провести. Правила квантовой механики показывают, что эти неравенства должны нарушаться. При выводе мы нигде твердо не устанавливали ориентацию осей А, В и С, а из квантовой механики известно, что оси можно выбрать так, что неравенство нарушается. Если неравенства нарушаются, то это означает, что существует более тесная, чем предсказывает классическая теория, корреляция между удаленными событиями, и это указывает на нарушение принципа локальности, о котором мы говорили выше.

Вернемся еще раз к ЭПР-парадоксу. В качестве ЭПР-пары может быть рассмотрена пара фотонов, которые образовались при аннигиляции позитрония. Пусть фотоны поляризованы под прямым углом друг к другу. Будем рассуждать в «классическом» духе. Если один фотон поляризован в горизонтальной плоскости, то другой будет обязательно поляризован в плоскости вертикальной. Если мы зарегистрируем один из них прошедшим поляроид, скажем, в горизонтальной плоскости поляризации, то другой, несомненно, пройдет через свой поляроид в вертикальной плоскости поляризации. Эксперимент и показывает эту корреляцию.

Можно спросить, что произойдет, если мы повернем оба поляроида на 45° ? Тогда, в соответствии с законами физики, первый фотон с вероятностью 50 % проходит через свой поляроид. Казалось бы, и второй фотон, ничего «не зная» о результатах эксперимента над первым, будет также проходить свой поляроид с 50 % вероятностью.

Квантовая механика говорит, что это, однако, неверно. Теория предсказывает, что, как бы мы ни ставили поляроиды, находящиеся под прямым углом друг к другу, прохождение одного фотона через поляроид означает, несомненно, и прохождение второго через свой поляроид. Это означает, что мы или не можем приписывать фотонам (до акта регистрации) какой-либо определенной поляризации, или между ними с помощью сверхсветовых сигналов осуществляется какая-то связь, реализующая эту корреляцию. В любом случае это означает, хотя в каждом из этих случаев и различное по характеру, нарушение принципа локальности. Измерение «здесь и сейчас» делает вполне определенной ситуацию в другом месте.

Что же говорит эксперимент? Выполняются или нарушаются эти неравенства? Верна ли квантовая механика или теории локального типа?

Впервые мысленный эксперимент по измерению компонент спина обсуждался еще в 1952 г. Д. Бомом. Но только после того, как Белл вывел свои неравенства, и Дж. Ф. Клаузер, Фридман, Хольт, Шимони, Стап и др. (см напр. [Clauser J. F. et al., 1978]) нашли, что неравенства можно обобщить, физики стали развивать эксперименты, где они могли бы быть проверены.

§ 4. Корреляционные эксперименты

Эксперименты по проверке неравенств Белла сталкивались с определенными техническими трудностями, и понадобилось около двадцати лет, чтобы окончательно стало ясно (с точки зрения эксперимента), подтверждаются они или нет. Идеально приборы работают только в идеальных экспериментах, каковыми являются как раз мысленные эксперименты. В действительности же приборы дают погрешности измерений, а то и вовсе не срабатывают. Именно такими недостатками обладают детекторы частиц, которые предполагалось использовать для подсчета частиц в различного рода корреляционных экспериментах по проверке неравенств Белла.

В этих экспериментах можно выделить несколько этапов по времени до тех пор, когда ситуация стала совершенно определенной. Так, с 1971 г. по 1976 г. было проведено семь экспериментов ([см., напр., Clauser, Shimony, 1978], а также [D'Espagnat, 1996]). Один из них основывался на измерении компонент спина протона, в других измерялась поляризация фотонов.

В некоторых экспериментах использовались атомы ртути. Лазерный луч света падал на атом ртути, он переходил в возбужденное состояние и через некоторое время переизлучал воспринятую энергию в виде двух фотонов. Оба фотона летели в противоположных направлениях и были поляризованы противоположным образом.

В двух экспериментах исследовалась поляризация гамма-квантов, которые возникали при аннигиляции уже рассматривавшегося позитрония (система, состоящая из электрона — e^- и позитрона — e^+). При аннигиляции такого рода возникают два гамма-кванта, которые летят в противоположные стороны и поляризованы противоположным образом к своим детекторам. Заметим, что не существует измерительного прибора, который бы одновременно улавливал фотоны и регистрировал их поляризацию. Используют два прибора — фильтр и детектор. Фильтр позволяет проходить фотонам только одной поляризации, и детектор считает фотоны, которые прошли фильтр. Ни фильтр, ни детектор не работают совершенно: если фотоны не регистрируются, то это не означает, что какой-то фотон с «подходящей» поляризацией не встретился. Иногда такой фотон просто не регистрируется детектором, хотя и прошел через него. Детекторы для гамма-квантов в целом более чувствительны, чем детекторы для низкоэнергетичных фотонов, но их поляризация, наоборот, устанавливается хуже.

В протонных экспериментах использовались протоны с низкой энергией, которые падали на атом водорода. При взаимодействии с ядром, которое также является протоном, эта пара переходила в синглетное состояние. Падающий протон передавал часть своего импульса ядру атома водорода, и они разлетались в разные стороны. До тех пор пока над ними не производилась измерительная процедура, они оставались в синглетном состоянии. Если измерить у обоих протонов компоненту спина вдоль одной из простран-

ственных осей, то получают ожидаемые противоположные результаты. В этом эксперименте также работали с фильтрами и детекторами: фильтр состоял из углеродной фольги, которая отклоняла каждый протон; в зависимости от значения спина, он достигал одного из двух детекторов.

Независимо от того, какие конкретно частицы в этих экспериментах использовались, в основу был положен общий принцип: три оси А, В и С выбирались таким образом, что угол между ними соответствовал значению, при котором предсказания квантовой механики и теорий локального типа имели особенно большое расхождение. Фильтры настраивались так, что через один из них могли проходить частицы с компонентой (спина или поляризации) A^+ , а другой — с компонентой B^+ . После того, как производилось измерение над достаточно большим количеством пар, фильтры поворачивали так, чтобы могли устанавливаться компоненты вдоль осей А и С. После того как и здесь набралась статистика, фильтры поворачивались снова — для регистрации компонент вдоль осей В и С. Пары каждой конфигурации считались с учетом эффективности прибора. Потом было легко установить, выполняются или нет установленные частоты $n(A^+B^+)$, $n(A^+C^+)$ и $n(B^+C^+)$ белловским неравенством.

На то время пять экспериментов из семи подтвердили предсказания квантовой механики, два же других, напротив, дали корреляции, которые разрешали белловские неравенства. Результаты этих семи опытов кратко, в качестве сводки, представлены в таблице ([см., напр., Clauser, Shimony, 1978], [D'Espagnat, 1996. S. 64]):

Эксперимент	Год	Исследуемые частицы	Результат
Стюарт Дж. Фридман, Джон Ф. Клаузер Калифорнийский университет, Беркли	1972	Низкоэнергетичные фотоны, эмитированные атомами кальция	В согласии с предсказаниями квантовой механики
Р. А. Холт и Ф. М. Пипкин. Гарвардский университет	1973	Низкоэнергетичные фотоны, испускаемые возбужденными атомами изотопа ртути-198	В согласии с неравенствами Белла
Джон Ф. Клаузер Калифорнийский университет, Беркли	1976	Низкоэнергетичные фотоны, испускаемые возбужденными атомами изотопа ртути-202	В согласии с предсказаниями квантовой механики
Эдвард С. Фрай и Рэндделл С. Томпсон, Техасский А. & М. Университет	1976	Гамма-кванты, испускаемые возбужденными атомами изотопа ртути-200	В согласии с предсказаниями квантовой механики
Г. Фарачи, С. Гутковский, С. Нотариджо и А. Р. Пэнесси Университет Катания	1974	Гамма-кванты, возникавшие при аннигиляции электронов и протонов	В согласии с неравенствами Белла

Окончание таблицы

Эксперимент	Год	Исследуемые частицы	Результат
Г. Касдей, Дж. Уллман и Ц. С. Ву, Колумбийский университет	1975	Гамма-кванты, возникшие при аннигиляции электронов и протонов	В согласии с предсказаниями квантовой механики
Л. Ламехи-Рахти и В. Миттг. Ядерный исследовательский центр Сакли (Saclay)	1976	Пары протонов в синглетном состоянии	В согласии с предсказаниями квантовой механики

В целом результаты этой серии экспериментов говорили в пользу квантовой механики, если во внимание принять следующие соображения: пять результатов, подтвердившие результаты квантовой механики, опирались на значительно большее количество данных, и эти данные были более надежны. Один из экспериментов, подтвердивший предсказания квантовой теории, был проведен только тогда, когда стало известно, что не подтвердились результаты опытов, говорившие в пользу локальных теорий. Были проведены улучшения приборов, для того чтобы исключить случайное предпочтение спина.

Клаузер и Шимони показали: теоретико-познавательные соображения говорят о том, что эксперименты, не подтвердившие квантовой теории, нельзя воспринимать как ее опровержение. Квантовая механика предсказывает значительно более сильную корреляцию между событиями, чем теории локального типа. Неравенства Белла выполнялись, возможно, лишь постольку, поскольку в этих опытах необходимую корреляцию не давали систематические ошибки. С другой стороны, представляется невероятным, что в пяти независимых экспериментах сильная корреляция также давалась систематической ошибкой. Более того, в этих пяти экспериментах неравенства Белла нарушались таким образом, как предсказывала квантовая механика. Если этот результат приписывать случаю, то из-за того, что исследовалось огромное количество, вероятность такого события почти равна нулю.

Хотя большинство физиков были уверены в том, что квантовая механика верна, для сторонников теорий со скрытыми переменными или локального типа оставалась все-таки определенная «лазейка». Дело в том, что поляризационные анализаторы в течение примерно одной минуты во время эксперимента находились в одинаковой ориентации. Этого времени было более чем достаточно для того, чтобы состоялся обмен информацией между ними за счет какого-либо неучтенного механизма. Следовательно, сторонники теорий со скрытыми параметрами могли утверждать, что в этих экспериментах белловское условие локальности не выполнялось, и эти эксперименты, следовательно, не могут дать окончательного решения в пользу той или иной теории.

Чтобы «заткнуть» «лазейку» этого типа, Алан Аспек с сотрудниками в Институте оптики Парижского университета провели сенсационный в то время эксперимент. В нем оптический переключатель выбирал ту или иную установку анализатора, когда свет (фотоны) еще находился в пути. В данном эксперименте, над которым работали восемь лет и который был закончен в 1982 г., эти оптические переключатели состояли из маленьких стеклянных трубочек, наполненных водой, в которых ультразвук создавал периодически стоячие волны. Волны служили как дифракционная решетка и могли чрезвычайно эффективно отклонять фотоны. При включении ультразвука стоячие волны отклоняли фотоны на анализатор, ориентированный во вполне определенном направлении; если он отключался, то фотоны попадали прямо на другой анализатор, который был ориентирован в другом направлении.

Процесс переключения длился около 10 наносекунд ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$). Генераторы, которые обслуживали два переключателя, работали независимо друг от друга. К сожалению, переключения происходили периодически, при случайном переключении результаты эксперимента были бы еще определеннее. Расстояние между анализаторами составляло 13 метров, так что сигналу, который двигался бы со скоростью света, т. е. с максимальной разрешенной специальной теорией относительности скоростью, требовалось 40 наносекунд, чтобы добраться от одного анализатора до другого. Следовательно, выбор настройки первого поляризационного анализатора не должен быть зависим от прохождения вторым фотоном своего анализатора и наоборот. Экспериментальная установка, таким образом, удовлетворяла белловскому условию локальности, и эксперимент показал, что данные корреляции внутри области ошибок согласуются с предсказаниями квантовой механики.

Хотя эксперименты Аспека доказали предсказаний квантовой механики не со стопроцентной надежностью, большинство физиков после них были уверены, что практически нет шансов, чтобы опровергнуть эти результаты. Тем не менее, в дальнейшем были проведены эксперименты, которые совершенно однозначно показали правоту квантовой механики.

Еще в 1978 г. Джон Арчибальд Уилер, бывший в то время профессором Массачусетского университета, предложил эксперимент с задержанным выбором (delayed choice experiment), который является по существу модификацией эксперимента с «интерферометром Дирака», известного еще с 30-х гг. Кроме того, отметим, что о возможности такого эксперимента значительно раньше Уилера говорил еще и Вайцзеккер (см., например, [Weizsaecker, 1931; 1941]) и в 60-е гг. Фейнман [Фейнман, 1977, т. 3]).

При этом используют интерферометр, в котором луч света расщепляется и затем оба луча могут снова объединиться. Импульс света от лазера падает на светоделитель, который так построен, что половина света проходит сквозь делитель, а другая отклоняется под прямым углом к направ-

лению падения. Когда лучи снова объединяются, возникает интерференционная картина, демонстрирующая волновые свойства света.

Суть эксперимента состоит в том, что лазерный импульс может быть настолько слаб, что каждый раз в интерферометр попадает только один фотон. В этом случае можно спросить: выбирает ли он какой-то один путь, отражается от светоделителя или проходит через него и показывает свое свойство частицы — или он, проявляя волновые свойства, одновременно и проходит и отражается, в конце интерферируя сам с собой?

Если говорить о схеме эксперимента, предложенной Уилером [Wheeler, 1978; 1979; 1983], [Hellmuth et al., 1987], то она такова (см. рис. 2). Единичный лазерный импульс расщепляется полупрозрачным зеркалом S_1 . В отсутствие полупрозрачного зеркала S_2 детекторы (X и Y) позволяют определить, каким путем (x или y) прошел фотон. Если вставить второе полупрозрачное зеркало S_2 , то мы уже не можем сказать, по какому пути прошел фотон, поскольку будет наблюдаться интерференция, и мы вынуждены считать, что он распространяется сразу по обоим путям. Идея Уилера состоит в том, что полупрозрачное зеркало S_2 вставляется уже после того, как фотон прошел через S_1 .

Если экспериментатор решит вставить S_2 , то он получит информацию, что фотон распространяется по двум путям, а если нет, то обнаружит его движение по какому-либо одному пути. Создается впечатление, что фотон должен иметь как бы «предчувствие», указывающее ему, как себя вести, чтобы отвечать выбору, который будет сделан экспериментатором.

Эксперименты, подтверждающие такое парадоксальное поведение фотонов, были успешно проведены в конце 80-х и начале 90-х гг. рядом групп, возглавляемых Скулли, Хельмутом, Манделом и Чао [Hellmuth et al., 1987], [Хорган, 1992], [Chiao et al., 1993], а также Кэрролом О. Алли, Олегом Якубовичем и Уильямом Уайксом из Мэрилендского университета. Эти группы нашли, что фотон ведет себя как частица, когда смотрятся его корпускулярные свойства, и как волна, когда анализируются его волновые

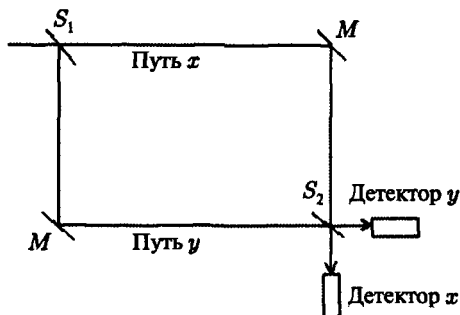


Рис. 2. Схема эксперимента Уилера

свойства. Новым и примечательным в этих экспериментах было то, что устройство позволяло принимать решение анализировать волновые или корпускулярные свойства уже после того как фотон прошел через светоделитель. Таким образом, с точки зрения классики, в момент взаимодействия со светоделителем для фотона не было ясно, вести ли ему себя как частица и двигаться по одному из путей, либо вести себя как волна, распространяясь по двум путям одновременно.

Длина обоих путей в интерферометре составляла примерно 4,3 метра, которые фотон мог проходить приблизительно за 14,5 секунд. В этих условиях, чтобы переключаться туда-обратно в течение столь малого промежутка времени, естественно, не подходил никакой переключатель механического типа. Для этих целей использовались т. н. ячейки Поккельса, которые срабатывали в течение 9 нс и даже менее.

Ячейка такого рода содержит кристалл, который является двулучепреломляющим, когда к нему приложено электрическое напряжение. Свет, поляризованный вдоль определенной оси кристалла, движется со скоростью, отличной от скорости света, поляризованного к этой оси перпендикулярно. Если выбирают подходящее напряжение и геометрию эксперимента, то свет, поляризованный при входе в ячейку в некотором направлении, при выходе из неё будет поляризован перпендикулярно к первоначальному направлению. Ячейка Поккельса располагалась на одном из двух путей, которые фотон мог выбирать после выхода из светоделителя. Когда через ячейку Поккельса идет электрический ток, она отражает фотоны в направлении к вспомогательному детектору; в противном случае фотоны проходят беспрепятственно. Генератор случайных чисел позволял включать или выключать ток через ячейку после того, как фотон прошел уже через светоделитель, но прежде чем он дойдет до детекторов. Когда ячейка Поккельса была включена, фотоны вели себя как частицы и пролетали либо по одному пути, либо по другому, давая сигнал либо на вспомогательном, либо на основном детекторе, но не на обоих сразу. Если же ячейка Поккельса была выключена, на основном детекторе возникала интерференционная картина, которая в этом случае говорила о волновом поведении квантов света, то есть фотон распространялся сразу по обоим путям.

Для демонстрации особенностей такого поведения микрообъектов, Дж. А. Уилер указал, что подобный эксперимент мог бы быть проведен с излучением квазаров — чрезвычайно ярких космических объектов, которые были обнаружены на границе наблюдаемой Вселенной. Вместо зеркал и светоделителя в таком мысленном эксперименте используется т. н. гравитационная линза — массивный космический объект, который за счет своего мощного гравитационного поля отклоняет движение фотонов. Такая «гравитационная линза» может расщепить свет, идущий к Земле от удаленного источника, скажем, от квазара, на два пути, которые потом сходятся для наблюдателя где-то на Земле. Наблюдатель может задаться

вопросом: как, каким образом двигались фотоны — как частицы или как волны? Если фотон распространяется как волна, то он движется, огибая «космическую линзу» по двум путям, если же он распространяется как частица, то он может идти только по одному из них. Самым поразительным оказывается тот факт, что на первый взгляд способ распространения фотона возле такой «линзы» зависит от выбора астронома. От типа выбранной им опытной установки, от сущности экспериментально поставленного вопроса зависит ответ о наблюдаемом пути движения фотона. Если астроном ставит экран и наблюдает на нем интерференционную картину, то он делает вывод о волновом распространении фотона. Если же использует детекторы, позволяющие определить, с какого края «гравитационной линзы» пришел на Землю фотон, то он обнаружит его распространяющимся как частица. Интерференционная картина на экране при этом исчезает.

Выбор астронома — каким способом наблюдать фотоны от квазара в настоящее время — определяется тем, прошел ли фотон по обоим путям или только по одному пути около гравитационной линзы миллиарды лет назад. В момент, когда фотоны долетали до «галактического светоделиителя», они должны были бы иметь нечто вроде предчувствия, указывающего им, каким образом себя вести, чтобы отвечать выбору, который будет сделан не родившимся на еще не существующей планете наблюдателем. Таким образом, создается впечатление, что мы как бы влияем на прошлое — можно сказать, создаем событие, бывшее до нас миллиарды лет назад.

По Уилеру, такого рода умозрительные построения возникают вследствие ошибочного предположения о том, что фотон имел какую-то форму до того, как его начали наблюдать. До сих пор физики привыкли мыслить на языке волн и частиц, что не соответствует действительности. Сами по себе квантовые явления не имеют ни волнового, ни корпускулярного характера: то, что будет наблюдаться, не определено вплоть до момента измерения. «Никакой элементарный феномен не является феноменом, пока он не является наблюдаемым (регистрируем) феноменом». Вот, по Уилеру, основной урок квантовой механики. В известном смысле, полагает Уилер, прав был английский философ Дж. Беркли, когда он два столетия назад утверждал, что «существовать — значит быть воспринятым». Точнее, по уилеровской трактовке, мы создаем, творим явление в процессе наблюдения. Согласно этой точке зрения, мы вовлечены в процесс и являемся «соучастниками» творения Вселенной.

Ранее физики считали, что процесс измерения требует прямого физического вмешательства и, измеряя, скажем, его координату, мы неизбежно сбиваем его с курса, при этом теряется информация о направлении его движения и фазе его волны, что собственно и отображает принцип неопределенности. Абсолютное большинство экспериментов действительно содержат возмущающие измерения, но в экспериментах, о которых идет

речь, было показано, что фотоны можно заставить переключаться и вести себя то как волна, то как частица, воздействуя на них гораздо более тонким способом, чем прямое физическое вмешательство. Один из таких экспериментов был проведен группой Мандела из Рочестерского университета.

Эксперимент основан на использовании т. н. параметрического преобразователя с понижением частоты (т. н. конвертора) — необычной линзы, расщепляющей фотон с данной энергией на два фотона, энергия каждого из которых вдвое меньше. Свет от лазера попадает сначала на светоделитель. Отраженные от него фотоны направляются к одному понижающему преобразователю, а фотоны, прошедшие сквозь светоделитель — к другому. Каждый из понижающих преобразователей расщепляет отдельный падающий на него фотон на два более низкоэнергетических фотона, один из которых называется сигнальным, а другой — дополнительным. Два понижающих преобразователя расположены таким образом, что оба дополнительных луча соединяются в одном детекторе, а два сигнальных луча — в другом.

Эта установка не позволяет наблюдателю ответить на вопрос, какой из путей выбирает отдельный фотон после прохождения светоделителя. Каждый фотон идет и слева, и справа от светоделителя подобно волне и проходит через оба понижающих преобразователя, образуя две сигнальные волны и две дополнительные. Сигнальные волны дают на соответствующем детекторе интерференционную картину.

Далее, когда преграждается путь одной группе фотонов, происходит нечто странное. Сигнальные и дополнительные фотоны, однажды излученные из понижающего преобразователя, в дальнейшем могут не встретиться; они направляются к своим детекторам независимо друг от друга. Тем не менее, если экспериментатор просто перекроет путь одной группе фотонов, то разрушается интерференционная картина от сигнальных фотонов. Что же изменилось? Часто это интерпретируется таким образом, что изменилось «потенциальное знание» наблюдателя. По Манделу, одна лишь «угроза» получить информацию о том, по какому из путей прошел фотон, вынуждает выбрать его только один из путей.

Интерпретацию подобного рода мы рассмотрим более обстоятельно позднее, сейчас же выделим лишь то, что представляется несомненным и важным. Эксперименты подобного рода демонстрируют, что квантовые явления не существуют «сами по себе», здесь существенным является «зависимость от иного», зависимость от условий наблюдения, то, что В. А. Фоком выделялось как «относительность к средствам наблюдения». Это обстоятельство как нельзя лучше демонстрирует, что «Никакой элементарный феномен не является феноменом, пока он не является наблюдаемым (регистрируемым) феноменом».

§ 5. Многофотонные эксперименты

Правоту тезиса Уилера демонстрируют т. н. многофотонные эксперименты, проведенные сотрудниками Московского государственного Университета.

Рассмотрим один такой эксперимент; его результаты были опубликованы в одном из номеров «Laser Physics» [Belinskii, Klyshko, 1996], [Белинский, 1999]. Рассматривается т. н. интерференция 3-го порядка с использованием эффекта параметрического преобразования света с изменением частоты. Пучок света, фактически единичный фотон с частотой ν_1 (излучение накачки), подается на прозрачный кристалл с квадратичной нелинейностью, где он порождает еще два пучка излучения с частотами ν_2 и ν_3 , причем $\nu_1 = \nu_2 + \nu_3$. Эффективность преобразования накачки в сигнальный и холостой пучки мала: она составляет лишь 0,000001 %. Поэтому основная доля излучения проходит через кристалл, на выходе которого — три пучка излучения. Во все три компонента поля вносятся регулируемые сдвиги фаз Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 , после чего они вновь взаимодействуют на другом, точно таком же кристалле. Последний осуществляет обратное преобразование сигнального и холостого пучков в излучение на частоте накачки и прямое преобразование прошедшего первый кристалл пучка накачки. Затем детекторы на выходе этой оптической системы регистрируют интенсивности всех трех пучков.

Можно показать, что вероятность фотосчета на детекторе A_2 , регистрирующем, например, импульс с частотой ν_2 , пропорциональна $1 + \cos(\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3)$, где Φ — соответствующие сдвиги фаз фотонов, что и было подтверждено в эксперименте, проведенном под руководством Д. Н. Клышко [Buglakov et al, 1997]. Этот результат свидетельствует об одновременном присутствии поля во всех трех каналах, т. е. существовании всех трех фотонов до момента их детектирования. Но энергии одного входного фотона достаточно лишь на половину энергии трех фотонов, что противоречит закону сохранения энергии!

В общем виде схемы экспериментов по проверке неравенств Белла можно свести к следующей схеме (см. рис. 3)

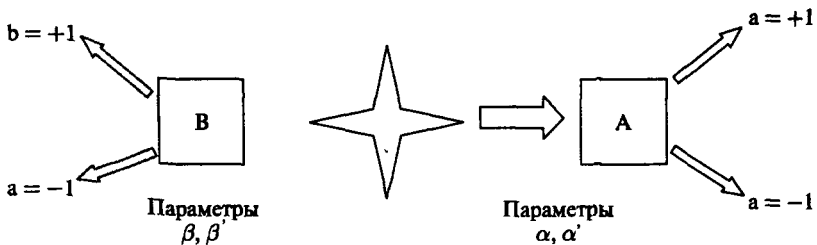


Рис. 3. Эксперимент по проверке неравенства Белла

1. Имеется общий источник сигналов, посылаемых двум удаленным наблюдателям А и В.
2. Наблюдатели регистрируют сигнал, причем регистрация состоит в фиксации одного из двух возможных событий. Условно припишем им значения плюс и минус один: для наблюдателя А $a = \pm 1$, для наблюдателя В: $b = \pm 1$.
3. Каждый наблюдатель имеет возможность менять настройки своей приемной установки с помощью одного параметра, принимающего два значения. Для А: α и α' , для В: β и β' . Например, в некоторых оптических экспериментах α (или β) — это просто угол ориентации поляризационной призмы, разделяющей две ортогональные поляризации пучка света.
4. Третий наблюдатель С видит одновременно результаты измерений А и В. Он вычисляет значения $s = ab = \pm 1$ для всех возможных значений параметров α , α' , β и β' . Наблюдатель С может, таким образом, судить о корреляции результатов, полученных наблюдателями А и В. Скажем, если $s = +1$, то между результатами А и В имеется полная корреляция, т. е. регистрируются либо значения $a = b = +1$, либо $a = b = -1$. Если же А и В регистрируют разные события $a = -b$, то $s = -1$ и результаты измерений антикоррелируют.
5. Проводятся четыре серии испытаний, скажем, до n испытаний в каждой серии. Испытания проводятся для разных комбинаций пар параметров. Сначала n испытаний для α и β , затем n испытаний для α' и β , далее для α и β' и, наконец, для α' и β' . После этого наблюдатель С вычисляет составную величину $s = 1/2 \{s(\alpha, \beta) + s(\alpha', \beta) + s(\alpha, \beta') - s(\alpha', \beta')\}$ и усредняет ее по полному числу испытаний n .

Оказывается, что среднее значение $S = \langle s \rangle$ строго ограничено. Мы опускаем несложные вычисления и приводим лишь конечный результат: абсолютная величина S не превышает единицы

$$|S| \leq 1. \quad (1)$$

Записанное в таком виде неравенство называется неравенством Белла. Этот результат получен при очень общих и, казалось бы, очевидных предположениях, а именно:

- П1. Результаты измерений наблюдателя А не влияют на результаты наблюдателя В, и наоборот (свойство *локальности*).
- П2. Из правил вычисления средних величин в классической теории вероятности предполагается, что *существуют* совместные распределения плотности вероятности $P(\alpha, \alpha', \beta, \beta')$ четырех величин $A(\alpha')$, $A(\alpha)$, $B(\beta)$ и $B(\beta')$.

ПЗ. Это совместное распределение неотрицательно, согласно аксиомам теории вероятностей (*колмогоровость*).

Как известно, многочисленные эксперименты, направленные на проверку (1) показали, что неравенство Белла нарушается — экспериментальные результаты укладываются в менее строгие рамки, нежели предписано соотношением (1). Вместе с тем, расчет с использованием квантовой теории дает предсказание, которому удовлетворяют экспериментальные данные, а именно:

$$|S| \leq \sqrt{2}. \quad (2)$$

Таким образом, для формального объяснения причины нарушения неравенства Белла (1) следует признать непригодность по крайней мере одного из предположений (П1-3), в рамках которых оно выводилось. Как показывает Д. Н. Клышко, сам придерживающийся «операционистской» точки зрения, наименее «спекулятивным» выглядит отказ от второго допущения — о «существовании совместных распределений плотностей вероятности наблюдаемых величин». Столь, казалось бы, замысловатая фраза отсылает нас на самом деле к выводу, сделанному еще в 1935 г. Эйнштейном, Подольским и Розеном, — о том, что если квантовая механика полна, и операторы, соответствующие двум физическим величинам, не коммутируют, то эти величины не могут одновременно быть реальными. Такой вывод так комментируется одним из рассматривавших корреляционные эксперименты авторов: «Фотон является фотоном, если это зарегистрированный фотон»¹. В таком виде последнее утверждение есть не что иное, как перефразирование известного выражения Уилера о сущности квантового явления. Он неоднократно отмечал, что нельзя кратко сформулировать основные положения квантовой механики (в отличие от других физических теорий), но зато можно кратко сформулировать ее основной урок: «Никакой квантовый феномен не может считаться таковым, пока он не является регистрируемым (наблюдаемым) феноменом».

Это утверждение емко формулирует сущность квантовых явлений, и последние эксперименты его недвусмысленно подтверждают. Все это говорит о том, что микрообъекты в определенном смысле не существуют до акта измерения.

Такой вывод нуждается в более тщательном рассмотрении. Можно спросить, что значит — не существовать до акта измерения? Не существовать вообще или характер существования до измерения носит просто иной характер? Тот факт, что до измерения мы приписываем фотонам соответствующие волновые функции, вычисляем по ним некоторые характеристи-

¹ *Belinskii V. Laser Physics 12, 939, 2002.*

ки, затем подтверждаемые в эксперименте, свидетельствует: мы должны рассматривать вторую альтернативу. Это возвращает нас к идее В. Гейзенберга и В. А. Фока о том, что мы должны рассматривать не только бытие актуальное, но и потенциальное, бытие в возможности. Понятие существования при этом значительно расширяется. Необходимо рассматривать некий *трансцендентальный* слой реальности, на котором существуют элементарные частицы до их актуализации. Характер их существования носит при этом совершенно парадоксальный характер, что и наблюдается при многочисленных квантовых эффектах.

ГЛАВА III

ИНТЕРПРЕТАЦИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Прежде чем приступить к выполнению этой задачи, необходимо рассмотреть те интерпретации квантовой механики, которые выдвигались в физической и методологической литературе. Излишне, по-видимому, говорить, что основное требование, с позиции которого будет оцениваться каждая интерпретация, — это ее способность учесть только что рассмотренные особенности квантово-механического способа описания реальности микромира. Сами эти особенности, естественно, не могут быть подвергнуты сомнению, поскольку они характеризуют теорию, находящуюся в прекрасном согласовании со всеми имеющимися экспериментальными данными, полученными при исследовании микроявлений.

При рассмотрении особенностей квантовой механики создается трудная для «обыденного смысла» ситуация. Р. Фейнман пишет в связи с этим: «Сказать, что они (электроны или свет) ведут себя как частицы, значило бы создавать у вас неправильное представление. То же самое получится, если я скажу, что они ведут себя как волны. Они ведут себя таким образом, что это ни в коей степени не напоминает чего-нибудь, с чем вы сталкивались раньше. Ваш опыт, основанный на том, с чем вы сталкивались раньше, неполон. Просто-напросто все то, что происходит в очень маленьком масштабе, происходит совсем по-другому. Атом не подчиняется тем же законам, что и грузик, подвешенный на пружинке и колеблющийся на ней. Его нельзя также рассматривать как миниатюрную солнечную систему с крошечными планетами, вращающимися по орбитам. Нельзя его представить и в виде какого-то облака или тумана, окутывающего ядро. Просто он не похож на все, что вы видели до этого. Трудность здесь чисто психологическая — нас постоянно мучает вопрос „Как же так может быть?“, в котором отражается неконтролируемое, но совершенно необоснованное стремление представить себе все посредством чего-то очень знакомого» [Фейнман, 1968].

§ 1. Основные трактовки квантовой теории

Выше, в главе I, мы рассмотрели необычные (и странные с точки зрения «здравого смысла») особенности квантовой механики. Возникает вопрос, а можно ли вообще каким-нибудь удовлетворительным образом проинтерпретировать эти особенности? Не сталкиваемся ли мы здесь с какой-то принципиальной границей нашего познания, через которую мы вообще не сможем перейти? Вопрос этот достаточно часто задается исследователями, занимающимися философскими проблемами квантовой механики, — как физиками (см., например, [Фейнман, 1978, т. 8]), так и самими философами [см. напр., Lenk, 1995. S. 202–203]. Последний автор, например, спрашивает: не является ли изумление при встрече с квантовой механикой прототипом нашего *принципиального* «непонимания»?

Ответ на этот вопрос вовсе не является тривиальным, и нашу собственную позицию кратко (и приблизительно) можно было бы пока выразить следующим образом. Мы *уже* обладаем «пониманием» квантовых процессов, так как имеем четкое и однозначное описание их в красивом математическом формализме квантовой теории, которая неизменно подтверждается на опыте. Однако возникает вопрос, можем ли мы выразить словом, отобразить понятийно то, что дано нам формулой? Речь идет, следовательно, об интерпретации квантовой теории.

В настоящее время существует множество трактовок квантовой механики, что указывает на явную или неявную убежденность авторов в возможности такой интерпретации. На наш взгляд, любая интерпретация квантовой теории может быть только тогда адекватной, когда она одновременно «схватывает» (как уже отмечалось выше) все выделенные выше характерные особенности описания квантово-механической реальности. Существующие же интерпретации «ухватывают» лишь те или иные из этих особенностей, оставляя в тени другие. Так, в трактовке Уилера внимание акцентируется в основном на принципе «участия», «зависимости от иного», у Пригожина — на динамическом аспекте, у Бома — на целостности и динамичности и т. д.

В связи с этим представляется полезным рассмотреть основные известные интерпретации. Здесь мы сможем дать лишь краткий обзор существующих точек зрения, так как подробный анализ является предметом специального исследования и занял бы слишком много места (подр. см., например, [Lenk, 1995; Herbert, 1987])

1. Копенгагенская трактовка квантовой механики является наиболее известной и сформулирована в основном Н. Бором. Эта точка зрения развивалась в работах не только Бора, но и В. Гейзенберга, В. Паули, уточнялась впоследствии учениками Бора. Необходимо отметить, что первоначально «копенгагенская трактовка» никогда не фиксировалась ее зачина-

телями в каком-либо одном единственном тексте. Она существует скорее во множестве интерпретаций, которые хотя и не различаются в своем физическом содержании, но имеют ряд различий философского плана (см. [Bohr, 1966], [Heisenberg, 1959], [von Weizsaecker, 1971]).

В этой трактовке утверждается — и это является центральным пунктом в ней, — что ввиду неустранимых парадоксов квантовой механики мы можем знать с определенностью как «реальные» *только результаты измерений*. В сфере применимости квантовой механики нельзя задавать вопросы о том, что представляет собой, например, электрон, когда фактически не производится его наблюдение с помощью экспериментальной установки того или иного типа (выявляющей либо корпускулярные, либо волновые его свойства). Квантово-механические предсказания относятся лишь к ситуациям фактического наблюдения. Как уже отмечалось во Введении, такая точка зрения является ограничительной, т. к. она запрещает спрашивать о сущности явления до измерения. Бор не отрицает реальности окружающего мира, но указывает на принципиальную невозможность более подробного анализа взаимодействия между микрообъектом и прибором. С его точки зрения, объяснение квантово-механического явления состоит не в сведении его к какому-либо «механизму», стоящему за этим явлением, но в построении теории нового типа и ее интерпретации (концепция дополнительности).

2. Развитием копенгагенской трактовки является интерпретация, предложенная учеником Бора Дж. Уилером.

В копенгагенской интерпретации квантовой механики можно вычленить два независимых тезиса: 1. Не существует никакой реальности вне наблюдения. 2. Наблюдение «создает» реальность. Копенгагенская школа настаивает на существовании только «феноменологической» реальности. Бор подчеркивал: «Не существует никакого квантового мира. Существует только абстрактное квантово-механическое описание» [цит. по Herbert, 1987. S. 33].

Уилеровская трактовка состоит в акцентировании второго тезиса копенгагенской интерпретации, и ее вполне можно назвать принципом «участия». Мы уже писали о том, что в одной фразе ее можно выразить так: «Никакой элементарный феномен не является феноменом, пока он не является наблюдаемым (регистрируем) феноменом». С этой точки зрения бытие Вселенной есть результат «акта участия наблюдателя» в процессе самоосуществления Вселенной, «звергающей себя в бытие посредством актов участия» [Хютт, 1991. С. 70]. Факт редукции волновой функции происходит в определенный момент процесса измерения, при этом реализуется одна из возможностей поведения микрообъекта в тех или иных внешних условиях. Прибор и «наблюдатель» регистрируют этот факт редукции и тем самым доводят физический процесс до полноты, явленности. Согласно рассматриваемой точке зрения без редукции на завершающей стадии

эксперимента не имеет смысла говорить о существовании физических процессов вообще. «Вид» реальности конституируется самим актом установления факта редукции волновой функции к фактически полученному результату. Поскольку акт редукции регистрируется наблюдателем, постольку правомерен «взгляд, по которому наблюдатель столь же существенен для проявления Вселенной, как и Вселенная для проявления наблюдателя» [Wheeler, 1977. P. 27].

3. Третьей интерпретацией является очень своеобразная, но находящая поддержку у многих физиков **теория множественности миров Эверетта**, по которой реальность состоит из permanently увеличивающегося числа параллельных миров [Everett, 1957].

В этой концепции утверждает, что любое квантово-механическое измерение «раскалывает», «расслаивает» его на копии, причем каждая из них является реально существующей и в каждой из них реализуются те или иные возможности, описываемые первоначальной волновой функцией. Для случая со шредингеровским котом, например, это означает, что такая экспериментальная установка приводит к двум мирам, которые оба реальны, но в дальнейшем никак друг с другом не связаны. В одном из этих миров кот Шредингера мертв, а в другом все еще жив. Эвереттовская интерпретация множественности миров активно обсуждается в связи с космологическими проблемами.

На этой трактовке, непосредственно затрагивающей проблему реальности, мы остановимся несколько позднее.

4. В четвертой, **квантовологической интерпретации** предполагается, что все парадоксы квантовой механики могут быть разрешены на основе неклассических логик. Сторонники этой трактовки (Биргхоф, фон Нейман, Финкельштейн и др.) убеждены в том, что квантовая теория совершила настолько глубокую революцию в нашем сознании, что недостаточно просто заменить старые концепты на новые. Делается утверждение о содержательном статусе логики, о реальности логики квантовой. Так, например, Дж. Баб писал: «Как значение перехода от классической к релятивистской механике состоит в выяснении того, что геометрия может играть в физике роль объясняющего принципа, что геометрия не априорна..., так и значение квантовой революции состоит в выяснении того, что логика может играть роль объясняющего принципа, что она в такой же мере не априорна. Не существует логического пространства априори в том смысле, что законы логики характеризуют необходимые свойства любых лингвистических схем, подходящих для описания и сообщения опытных данных. **В конце концов, логика относится к миру, а не к языку** (подчеркнуто мной — А. С.)» [цит. по Панченко, 1988. С. 127–128]. Мы должны принципиально изменить само наше мышление, и в первую очередь лежащую в основе всего нашего познания, составляющую ее костяк, двузначную аристоте-

левскую логику, — и перейти в простейшем случае к трехзначной небулевой логике, в рамках которой парадоксы просто не возникают.

5. В неореалистических трактовках предполагается, что мир, в области как макроявлений, так и микроявлений, состоит из обычных классических объектов, свойства которых не зависят от наблюдения. По этим трактовкам, математический аппарат квантовой теории является лишь удобным феноменологическим аппаратом, правильно описывающим эксперименты. Представители этого направления, у истоков которого стоял Эйнштейн, верят в построение более глубокой теории, позволяющей объяснить квантовую теорию, но базирующейся по сути дела на обычных классических представлениях.

Здесь можно выделить теории волны-пилота Луи де Бройля и квантового потенциала Бома, различные теории со скрытыми параметрами. В теории де Бройля, например, квантовая частица «ведется» определенной волной-пилотом, подчиняющейся уравнению Шредингера. Таким образом, Бом, Луи де Бройль, Вижье пытались свести квантовую теорию к классической детерминистической теории. После известных опытов по проверке неравенств Белла и экспериментов с «отложенным выбором» необходимо признать существенную неудовлетворительность этих трактовок.

6. В интерпретации, тесно связанной с теорией измерения фон Неймана, утверждается, что непосредственно само сознание наблюдателя (связанного с измерительной аппаратурой) и создает реальность. На этой трактовке мы остановимся более подробно чуть ниже.

7. В качестве следующей интерпретации квантовой механики выделим трактовку Пригожина. Здесь утверждается, что мы должны отказаться от понятия «галилеевского объекта». Наука классического типа подошла к своему концу, и мы должны отказаться от ее понятий. По Пригожину, фундаментальную роль в современной физике (и не только в квантовой механике) играет понятие «стрелы времени» и, следовательно, процессы необратимости. Они «имеют преимущество» перед процессами обратимыми, а последние — всего лишь частный случай, т. е. «классическое исключение» из общего правила. В квантовой механике акт измерения есть как раз необратимый процесс, элемент необратимости, вмешивающийся в систему.

Пригожин, ссылаясь на Дж. Белла, М. Гелл-Манна, Джеймса Б. Хартла и др. современных известных физиков, настаивает на необходимости исключения из квантовой механики «субъективного элемента, связанного с наблюдателем» [Пригожин, 2000. С. 50].

8. В качестве следующей трактовки квантовой механики выделим холистскую интерпретацию, родоначальником которой можно назвать позднего Давида Бома [Bohm, 1980; 1986]. Согласно этой трактовке, весь Универсум должен пониматься как вид особой голограммы. Весь мир отража-

ется во всех своих частях, подобно тому как кусочек голограммы содержит всю информацию о целой голограмме. Бом говорит о том, что в отдельных частях структуры как бы «свернуты», «завернуты» и потом могут быть, соответственно, извлечены. «Имплицитный порядок» («*implicate order*») задан повсюду. «Составными элементами» этого порядка являются не классические «галилей-декартовские» объекты, а *действие, движение*, или, как их называет сам Бом, — «*holomovents*», или некоторые целостные «голономные» движения — «голодвижения».

«Внутренний порядок», холистический момент являются для Бомы отличительными признаками квантовой механики. ЭПР-парадокс демонстрирует «неразложимость» мира, его нелокальный характер. Бом утверждает, что мы должны отказаться от картезианского дуализма, картезианского понимания объекта и перейти к холистической, целостной трактовке.

При этом существует некоторая иерархия Универсума. Наиболее глубокий уровень реальности — «непроявленность», где и осуществляется сеть универсальных взаимоотношений, не имеющая ничего общего с локальностью в пространстве-времени.

Другим вариантом такой интерпретации квантовой механики является точка зрения швейцарского физика Ганса Примаса. Его основная идея состоит в том, что мы должны отказаться от разделения мира на единичные объекты или события. Сам мир для Примаса является целостным, неделимым и единственным объектом.

9. Выделим также трактовку квантовой теории Д. И. Блохинцевым. Центральным в ней является понятие квантового ансамбля. «Концепция квантовых ансамблей очень близка к концепции классического ансамбля Гиббса, хорошо известного из статистической термодинамики... Квантовый ансамбль в полной аналогии с классическим ансамблем Гиббса образуется путем неограниченного повторения ситуации, образованной одной и той же микросистемой μ (но не одним ее экземпляром!), погруженной в одну и ту же макрообстановку M .

Таким образом, в квантовой механике микросистема μ рассматривается в связи с той макроскопической обстановкой M , в которую она помещена и которая диктует ей „состояние“ в квантовомеханическом смысле» [Блохинцев, 1976. С. 616–617].

Концепция Д. И. Блохинцева отличается от копенгагенской тем, что подчеркивает статистический характер квантовых ансамблей, отличает принципиальным образом эту статистику от классической, «отводит более скромную роль наблюдателю, повсюду подчеркивает объективный характер квантовых ансамблей и управляющих ими закономерностей» [Блохинцев, 1976. С. 616].

10. В качестве совершенно особой трактовки можно указать на формулировку КМ Ричардом Фейнманом, предложенную им еще в 1942 г.

Этот подход не базируется на уравнении Шредингера и вместо гамильтонова метода в нем используется лагранжев метод. Такая формулировка называется методом квантования путем континуального интегрирования. Основным объектом в подходе Фейнмана является *пропагатор* $K(q, t; q_0, t_0)$, который позволяет выразить волновую функцию $\psi(q, t)$ через ее начальное значение $\psi_1(q_0, t_0)$ в момент времени $t = t_0$. Этот пропагатор записывается в виде

$$K(q, t; q_0, t_0) = \int d\{x\} \exp \left[\frac{i}{\hbar} \int_{t_0}^t L(x, x') dt \right],$$

где $x' = dx/dt$.

Интегрирование в показателе экспоненты производится в пределах времени от t_0 до t и является выражением для классического действия S . Само интегрирование в пропагаторе $K(q, t; q_0, t_0)$ распространяется не только на классические траектории, но и на *все мыслимые* траектории, соединяющие точки (x_0, t_0) и (x, t) , что соответствует выполнению принципа суперпозиции. В этой формулировке в основу положены вклады вдоль траекторий, равные по модулю единице и отличающиеся лишь значением фаз. «Все траектории вносят вклад, одинаковый по абсолютной величине; фаза каждого вклада представляет собой (выраженное в единицах \hbar) классическое действие, то есть взятый вдоль данной траектории интеграл от функции Лагранжа по времени» [Фейнман, 1955. С. 175].

11. Последняя известная трактовка, которую мы рассмотрим, восходит к Гейзенбергу и развивалась Фоком. Как уже говорилось, копенгагенская трактовка, разделявшаяся в принципе большинством физиков того времени, утверждает, что не стоит искать более глубокого описания и понимания реальности, данной нам в эксперименте. Только *феномены* являются реально существующими, и помимо них нет никакой более глубокой реальности. Гейзенберг был одним из немногих физиков, пытавшихся понять и описать «квантовую реальность».

По Гейзенбергу, за квантовым феноменом действительно нет никакой реальности, но в совершенно ином смысле, чем вкладывал в это утверждение Бор. За квантовым феноменом нет никакой реальности в том смысле, что находящееся за ним — это только «полуреальность», не мир фактически существующего, а всего лишь потенция, «тенденция» к осуществлению.

Гейзенберг утверждал, что квантовая механика возвращает нас к аристотелевскому понятию «*dynamis*» — бытия в возможности. С его точки зрения, в квантовой теории мы возвращаемся к идее множественности бытия, а именно к двухуровневой, двухмодусной онтологической картине: мы имеем модус бытия в возможности и модус бытия действительного, мир фактически существующего.

Гейзенберг не развил достаточно последовательно такую трактовку, и фактически это было осуществлено Фоком. Эта интерпретация будет ниже обсуждаться очень подробно, здесь же мы отметим, что Фок вводит понятие «потенциальных возможностей» и «существившегося» в результате измерения, практически полностью соглашаясь в этом с Гейзенбергом.

Последнюю точку зрения разделяет достаточно большое число физиков и философов как у нас, так и за рубежом (к ней также вполне можно отнести, например, полперовскую концепцию предрасположенности («propensity»), а также развиваемую оксфордским философом науки Р. Харре, концепцию «affordances» [Harre, 1990]). По Попперу, волновая функция описывает непосредственно не известные из классической физики свойства отдельных объектов, а *диспозиции* (потенции, предрасположенности) объектов проявлять те или иные свойства, подлежащие измерению. Квантовая реальность — это реальность диспозиций, т. е. реальность не актуально присутствующих, всегда имеющихся свойств объектов, а реальность *предрасположенностей* их поведения. Вероятности в квантовой механике с необходимостью должны считаться «физически реальными», являются «физическими предрасположенностями... к реализации сингулярного события». Понятие propensity, по Попперу, отсылает к «ненаблюдаемым диспозиционным свойствам физического мира, ...наблюдению же доступны только некоторые наиболее внешние проявления этой реальности» [Поппер, 1983. С. 421–422].

По Харре, реальность также «распадается» на латентную и «манифестируемые» стороны, причем то, что проявляется, «оказывается способным к проявлению», существованием образом завидит, по Харре, от «человеческих артефактов» — прибора, экспериментальной установки. Формулируя свою концепцию, Харре пишет: «Можно сказать, ...что природа + аппараты ЦЕРНа обеспечили (сделали возможными) для нас W-частицы. Это совсем иная вещь, чем сказать, что природа минус аппараты ЦЕРНа дала нам возможность обладать W-частицами. Я думаю, что у нас нет никаких оснований, чтобы так говорить. Я надеюсь, что понятно, что отказ от последней формулировки не предполагает утверждения, что W-частицы являются артефактами — они вполне реальны, но как возможности, даваемые природой. Они то, что мир делает возможным для нас, будучи вопрошаемым именно этим способом» [Harre, 1990. P. 156].

Если соотнести рассмотренные интерпретации с выделенными нами в первой главе особенностями квантово-механического описания реальности, можно прийти к следующему выводу. Каждая из них содержит ряд спорных положений и трудностей и подвергается сомнению представителями конкурирующих трактовок. При этом необходимо отметить, что редкая из интерпретаций «покрывает» выделенные выше основные аспекты описания квантовой реальности.

Не обсуждая пока подробно детали всех рассмотренных интерпретаций, отметим сейчас лишь следующее. Многие из них тяготеет к холистич-

ческому взгляду на мир, рассматривая его как единое целое. «Универсум, с позиций холизма, не может рассматриваться как скопления одиночных, друг с другом взаимодействующих, но существующих самих по себе объектов, поскольку эти объекты существуют только в связи с их отношением к наблюдателю и его абстракциям» [Primas, 1984. S. 258], — утверждает один из представителей этой точки зрения.

О целостности и неразрывности мира говорил уже Гейзенберг, эта же идея развивалась автором идеи «бутстрапа» Джеффри Чу, активно отстаивается во всех работах Д. Бома, которому следует автор нашумевшей книги «Дао физики» Фритьоф Капра.

Так, Дэвид Бом писал: «Неделимое квантовое единство всей Вселенной является наиболее фундаментальной реальностью, а эти относительно независимые составные части — только лишь частные единичные формы внутри этого единства» [Bohm, Hiley, 1974].

Холистская интерпретация достаточно интересна и изначально содержит в себе парадокс. Так, мир, с одной стороны, неразделим, являясь, в конце концов, единственным объектом, который даже и анализировать нельзя, так как все связано со всем; с другой стороны, в любом описании, в каждом физическом эксперименте предполагается, постулируется существование некоррелируемых, отдельных систем. И это парадокс. В такой интерпретации, по Примасу, человек должен пониматься как создатель природы, «fabricator mundi» в смысле понимания Леонардо да Винчи [Primas. S. 256], и «при этом мы не можем больше исключать духовные абстракции наблюдателя» [Там же. S. 258]. Речь не идет о том (у Примаса), чтобы включать свойства индивидуального наблюдателя в теорию. Свойства наблюдаемого не зависят от свойств и особенностей наблюдателя, но зависят от его позиций — что и как наблюдать. Такого рода точку зрения можно назвать вполне умеренной, так как представители ряда других трактовок тем или иным образом прямо стремятся включить свойства наблюдателя (а именно, его сознание) в теорию.

§ 2. Сознание и квантовая реальность

Идея включения сознания при описании квантовой реальности восходит к концепциям фон Неймана и Вигнера и в настоящее время разделяется весьма внушительным числом авторов. Целую подборку подобного рода высказываний по данной проблематике приводит, например, В. Налимов в книге «В поисках иных смыслов». Приведем только некоторые из них.

К. фон Вайцзеккер: «Сознание и материя являются различными аспектами одной и той же реальности».

Э. Шредингер: «Субъект и объект едины. Нельзя сказать, что барьер между ними разрушен в результате достижений физических наук, поскольку

этого барьера не существует..., одни и те же элементы используются для того, чтобы создать как внутренний (психологический), так и внешний мир».

А. Эдингтон: «Печать субъективности лежит на фундаментальных законах физики...»

«...Мы находим странные следы на берегах неведомого. Мы разрабатываем одну за другой глубокие теории, чтобы узнать их происхождение. Наконец, нам удастся распознать существо, оставившее эти следы. И — подумать только! — это мы сами» [Цит. по Налимов, 1993. С. 36–37].

Приводить такого рода утверждения вырванными из контекста бессмысленно. Они часто не отражают действительную точку зрения автора (вряд ли, например, Э. Шредингера можно отнести к радикальному стороннику неклассического подхода в физике). Тем не менее, в них фиксируются некоторые действительно существующие тенденции, и высказываний подобного рода можно было бы привести огромное количество.

Существуют несколько подходов при обосновании точки зрения влияния сознания на квантовые процессы: все они так или иначе связаны с идеей целостности.

Один из них — назовем его «метафизическим» — изначально постулирует некоторую целостность мира, где «материальное» и «духовное» оказываются лишь некоторыми «паттернами» Единого целого. Такой точки зрения придерживаются, например, Фригьф Капра [Капра, 2002] и Дэвид Бом. В своих построениях Капра опирается на восточную метафизику, а построения Боба также, хотя он и занимался математической разработкой своей теории, на настоящее время носят скорее качественный, чем количественный характер. В его подходе сознание рассматривается как неотъемлемый элемент «голодвижения» и необходимо для вводимого им «имплицитного порядка» (см. выше).

Другой подход связан с именем Джеффри Чу. Так, рассматривая идею расширения теории адронного бутстрапа, он видит возможность «пришнуровать» друг к другу пространство-время и человеческое сознание, что, по его мысли, открывает беспрецедентные перспективы для развития человеческого познания, готового выйти за рамки научного мировосприятия: «Такой шаг в будущем оказал бы гораздо более сильное воздействие на развитие науки, чем любое обобщение адронного бутстрапа; нам пришлось бы стать лицом к лицу с зыбким понятием наблюдения и даже, не исключено, с понятием сознания. Наши нынешние подвиги с адронным бутстрапом могут, таким образом, оказаться лишь предвкушением совершенно новых форм интеллектуальных устремлений человека, которые не только лежат за пределами физики, но вообще не могут быть определены как „научные“» [цит. по Капра, 2002, 316–317].

Еще один из подходов ассоциирован с известной точкой зрения В. Гейзенберга, согласно которой в современной физике уже трудно провести грань между объективным и субъективным. Эта точка зрения в своих исто-

ках связана непосредственно с известной проблемой наблюдателя и с попыткой обоснования роли его сознания в процессе измерения, что восходит, как мы уже упоминали в начале этого параграфа, к теории измерения фон Неймана. Резюме его анализа, данное Лондоном и Бауэром, было опубликовано в одном из выпусков «Actualites scientifiques» [London, Bauer, 1939].

На этом аспекте, как на одном из фундаментальных, мы остановимся чуть более подробно. Это имеет тем больший смысл, что часто не совсем верно трактуется сама позиция фон Неймана. Имеются существенные расхождения между точкой зрения фон Неймана и ее интерпретацией Лондоном и Бауэром.

В теории процесса измерения фон Неймана субъект, обладающий сознанием как субъект познающий, рефлектирующий над действительностью, играет конститутивную роль только в эпистемологическом смысле, и акт ментального восприятия не рассматривается как необходимый элемент материальной реализации того или иного исхода эксперимента (см. ниже). У Лондона и Бауэра, в противоположность фон Нейману, сознание наблюдателя рассматривается как активный, влияющий непосредственно на протекание физического процесса агент.

Работа двух указанных авторов возникла не в последнюю очередь из намерения, которое имелось уже у фон Неймана: сделать более прозрачной в физическом и философском смысле его теорию, математически сложную и для физиков не очень наглядную. При этом оказалось, что философские интенции самого фон Неймана относительно проблемы отношения физического и психического были выражены этими авторами неадекватно, поскольку они исходили из предположения о *явной* связи физического и психического.

В первой главе мы показали, что в процессе измерения волновая функция всей системы изменяется непрерывно, причем полная система остается в чистом состоянии, а состояние каждой подсистемы становится определенным смешанным состоянием. Однако при измерении система реально оказывается во вполне определенном состоянии, и вместо всей суммы (см. формулу (4) первой главы) мы имеем лишь какой-то один член, т. е. происходит своеобразное «схлопывание», или редукция, волновой функции ($\sum C_k u_k(x) v_k(y) \rightarrow u_i(x) v_i(y)$). Такого рода редукция, «скачок» никак не описывается самой квантовой механикой. Тут и возникает вопрос о роли наблюдателя. Для измерения необходим разрыв непрерывности и должна возникнуть новая ситуация, когда наблюдатель, констатируя состояние системы II, приписывает системе I волновую функцию, соответствующую вполне определенному измеряемому значению величины A.

Лондон и Бауэр утверждают, что именно сознание наблюдателя, констатирующего состояние измерительного прибора, дает возможность свести возникшую в результате взаимодействия смесь состояний изучаемой

системы к одной из ее составляющих. Они явным образом рассматривают три системы: изучаемый объект x , измерительный прибор y и наблюдателя z , образующие единую полную систему. Она описывается функцией

$$\Psi(x, y, z) = \sum C_k u_k(x) v_k(y) w_k(z).$$

Если мы будем рассматривать объект как полную систему, то она будет в чистом состоянии, которое все время остается таковым, а каждая из подсистем x, y, z будет находиться в смешанном состоянии. Функция Ψ в этом случае дает «максимальные» сведения о полной системе, не давая точной информации о состоянии объекта x .

Наблюдатель же, по Лондону и Бауэру, стоит на другой точке зрения: для него ко внешней объективной реальности относятся лишь объект x и измерительный прибор. Сам же он находится в совершенно особом положении, так как обладает сознанием, или способностью интроспекции. Именно в силу такого непосредственного знания он считает себя вправе создать свою собственную объективность, разорвав цепь выражаемых функцией Ψ статистических связей и констатируя: «я нахожусь в состоянии w_k , значит, измерительный прибор находится в состоянии v_k , а объект — в состоянии u_k , что позволяет приписать определенное значение величине A , для которой u_k — собственная функция, т. е. измерить величину A ».

«Таким образом, — говорят Бауэр и Лондон, — вовсе не некое таинственное взаимодействие между прибором и объектом вызывает при измерении появление новой волновой функции системы. Это лишь сознание моего Я, которое отделяет себя от старой функции $\Psi(x, y, z)$ и создает новую объективность в силу осознанности своих наблюдений, приписывая объекту новую волновую функцию $u_k(x)$ » [цит. по де Бройль, 1987. С. 290].

Такая трактовка процесса измерения справедливо встречает целый ряд возражений. Во-первых, сразу же необходимо отметить, что сам фон Нейман не делал таких далеко идущих выводов. У него описание наблюдателя как рефлектирующего субъекта познания никоим образом не включалось в сами уравнения (у фон Неймана «само Π (наблюдатель — A . С.) остается каждый раз вне рассмотрения» [см. Нейман, 1964. С. 309]). В этом состоит решающее отличие анализов процесса измерения у фон Неймана и Лондона и Бауэра.

Вышеупомянутые авторы необоснованно применяют аппарат квантовой механики к состоянию сознания наблюдателя; кроме того, вопреки их взглядам, индуцированный сознанием наблюдателя переход к одиночному состоянию никоим образом не описывается квантовой динамикой с помощью уравнения Шредингера.

Рассматриваемый подход критикуется немецким философом и физиком Канитшайдером: «...Тезис Лондона и Бауэра состоит, естественно, в том, что бессмысленно говорить об измеряемом значении, которое показывает при-

бор, до тех пор, пока кто-либо не произвел считывание с него» [Kanitscheider, 1981. S. 186]. Этот тезис не был бы столь проблематичным, если бы речь шла о простом восполнении недостающего знания. Однако теория, предлагаемая Лондоном и Бауэром, — и это необходимо еще раз подчеркнуть — исходит из того, что именно *восприятие наблюдателя создает* объективное состояние, которое затем через показания прибора ретроактивно воздействует на изучаемую микроскопическую систему. При этом подходе невозможно избежать солипсизма и парапсихологических следствий.

Другой деликатный момент рассматриваемой интерпретации состоит в следующем: если объективная реальность создается сознанием наблюдателя, то не меняется ли такая реальность от одного наблюдателя к другому (т. н. проблема «друга Вигнера», состоящая в том, что квантовую систему могут наблюдать два исследователя, например, Вигнер и его друг). Согласно рассматриваемой точке зрения, переход в собственное состояние наблюдаемой происходит не «сам по себе», а за счет того, что сознание через интроспекцию сознает себя в определенном состоянии и делает отсюда заключение о состоянии наблюдаемой. Но тогда разные наблюдатели с разным сознанием могут осознать себя в разных собственных состояниях оператора наблюдаемой, и неясно, почему же разные наблюдатели видят одно и тоже положение стрелки прибора? Как замечает Канитшайдер по этому поводу: «Этим самым каждый физик был бы заключен некоммуницирующим образом в свою собственную физику — „физику Робинзона“» [Kanitscheider. S. 186].

Лондон и Бауэр пытаются преодолеть такого рода фатальные для своей теории выводы указанием на собственно макроскопический характер отношений между прибором и наблюдателем. Они указывают при этом, что констатация, позволяющая провести измерение — это констатация макроскопическая, которая не влияет на наблюдаемые явления. Так, например, отсчет положения стрелки на шкале прибора является макроскопической констатацией, и взгляд, который наблюдатель бросает на шкалу прибора, чтобы определить положение стрелки, не оказывает влияния на саму систему. Таким утверждением авторы, как справедливо замечает Бём [Boehm, 1986. S. 80], противоречат сами себе. Это не согласуется с их начальным предположением о *единстве* объекта, прибора и наблюдателя как квантово-механической системы, в которой именно трехвекторное состояние $\Psi(x, y, z)$ из уравнения (3) и дает в результате интроспекции требуемую информацию.

Критикует эту работу и де Бройль, разбиравший ее в своей книге «Соотношения неопределенностей Гейзенберга»: «Я цитировал этот текст, но не очень хорошо понимаю его. Фраза: „мое Я, которое отделяет себя от волновой функции“, мне кажется гораздо более таинственной, чем какое бы то ни было взаимодействие между объектом и измерительным прибором».

ром. Отсюда можно и легко понять иронический каламбур Шредингера: „Теория волны становится психологической“. Ничего особенного не следует и из того, что такие рассуждения согласуются с мнением Бора, который считает, что в квантовой физике уже нельзя провести резкую грань между объективным и субъективным, ибо это его утверждение малопонятно и ничего не объясняет. Чем больше размышляешь об этом, тем глубже впечатление, что всю эту интерпретацию нужно переосмыслить на другой основе» [де Бройль, 1986. С. 290].

У нас в свое время проблема сознания в связи с квантовой механикой разбиралась эстонским философом В. Хюттом [Хютт, 1991. С. 84–86]. Ссылаясь на высказывание С. И. Вавилова, что «сознание не просто „свидетель физики“, а физический фактор» [Келер, 1975], Хютт пытается рассматривать сознание «не в его рефлексивной форме как отражение бытия, но в его бытийном модусе в качестве отраженного бытия, т. е. не как сознание бытия, но как бытие сознания» [Хютт, 1991. С. 84].

По Хютту, объединение идей несилового взаимодействия, теории Эверетта и особенностей интерпретации проблемы измерения в квантовой механике позволило бы аргументировать тезис С. И. Вавилова. «Речь идет уже не о физических основаниях сознания и мышления, но о самом феномене: насколько оправданным является толкование ментальной реальности сознания и мышления в онтологическом плане как реально, „физически“ действующего фактора, структурирующего реальность» [Хютт, 1991. С. 85]. По Хютту «критическим моментом служит осмысление того обстоятельства, что завершающий элемент процесса квантово-механической трактовки измерения (редукции) зависит от волевого решения „наблюдателя“. Вопреки широко распространенному предубеждению, Р. Фейнман констатирует, что реальную гносеологическую значимость процессу измерения придает не „возмущение“ атомов прибором (при котором якобы „теряется информация“ из-за редукции волновой функции, когда из множества возможных состояний осуществляется одно-единственное), но (по Хютту) сам акт ментального действия — „когда ставятся перегородки“» [Фейнман, 1978. С. 70]. Как утверждает Хютт, такой подход находится в русле «досократической» философской традиции, «где во главу угла ставится Бытие-сознание в объективном плане» [Хютт, 1991. С. 84]. Сознание непосредственно «вовлечено» в Бытие, поэтому и можно говорить, что редукция волновой функции вызывается актом ментального действия.

Здесь необходимо выделить несколько моментов:

1. Действительно, результат измерения, как мы уже неоднократно подчеркивали, зависит от «волевого» решения экспериментатора, и в этом Хютт прав.
2. Верно и то, что «силовое» воздействие не является и столь уж важным при процессе измерения, как предполагалось ранее. Экспери-

менты с отложенным выбором показывают, что этот «выбор», тот или иной исход опыта, осуществляется и без «силового» воздействия.

3. Неверно, однако, то, что информация не теряется в самом акте измерения. Из множества потенциально возможных состояний осуществляется все-таки одно единственное.
4. Совсем неверно утверждение о значимости «акта ментального действия». У Фейнмана, на которого ссылается Хьютт, речь идет об эксперименте Штерна—Герлаха, где факт «постановки перегородок», как раз не имеет ни малейшего отношения к ментальной реальности. Речь идет о совсем прозаических экспериментах с фильтрами, где перегородки имеют как раз далеко не «воздушный», «ментальный», а вполне осязаемый, материальный характер [Фейнман, 1978, гл. III].

В конце концов, и сам Хьютт, разбирая этот вопрос, вынужден все-таки констатировать, что «современное состояние физической науки... не позволяет утверждать идею С. И. Вавилова в полном объеме» [Хьютт, 1991. С. 85].

§ 3. Теория измерений и многомировая интерпретация

Согласно вышесказанному, существуют сложности теории измерений, которая в принципе не может дать ответ на вопрос: каким образом из смеси состояний наблюдаемой оказывается лишь одна из возможных альтернатив? Попытка привлечения для этого сознания наблюдателя, как мы видели выше, вряд ли может считаться удачной.

Другой попыткой преодоления этой трудности является теория множественности миров Эверетта, по которой реальность состоит из перманентно увеличивающегося числа параллельных миров [Everett, 1957].

В этой концепции утверждается, что любое квантово-механическое измерение «раскалывает», «расслаивает» мир на копии, причем каждая из них является реально существующей, и в каждой из них реализуются те или иные возможности, описываемые первоначальной волновой функцией.

Такого рода подход разделяется в настоящее время многими физиками. Упомянем здесь лишь имена Дойча (Deutsch) и Вайдмана (Vaidman). Последним автором не так давно был дан обзор современного состояния этой теории, см. — [Vaidman, 2002].

Согласно теории многомировой интерпретации (ММИ), Вселенная характеризуется единственным квантовым состоянием (Состоянием с большой буквы). Эволюция во времени этого Состояния является всецело детерминистической, описываемой уравнением Шредингера. Существенно в этой трактовке, что Вселенная является этим Состоянием. Мир, как мы обычно его понимаем посредством нашего опыта, соответствует лишь крошечной части этого Состояния.

Состояние Ψ может быть разложено на суперпозицию ортогональных состояний ψ_i , соответствующих разным мирам:

$$\Psi = \sum c_i \psi_i. \quad (2.1)$$

Такая суперпозиция является фактически разложением Вселенной, согласно которому индивидуальные компоненты ψ_i соответствуют мирам, как их понимают сознательные существа.

Коэффициенты c_i уравнения (2.1) дают меры существования различных миров. Так, мера существования мира ψ_i равна $|c_i|^2$. Все выше сказанное Вайдманом в работе [Vaidman, 2002] иллюстрируется на простом примере нейтронного интерферометра, экспериментального устройства для получения интерференции нейтронов (см. рис. 4).

Это устройство состоит из источника нейтронов, расщепителя S_1 , двух зеркал M_1 и M_2 , другого расщепителя S_2 и двух детекторов D_1 и D_2 .

В стандартной квантовой механике частицы не имеют и не могут иметь траекторий. Частица описывается состоянием (волновой функцией), изменяющейся во времени в соответствии с уравнением Шредингера. Внутри интерферометра нейтрон описывается волновой функцией, являющейся суперпозицией двух волновых пакетов ψ_1 и ψ_2 , различающихся направлением движения и местоположением. В нашем примере ψ_1 соответствует пути X нейтрона, а ψ_2 отвечает пути Y. Состояние нейтрона внутри интерферометра описывается функцией

$$\Psi_{\text{neutron}} = (1/\sqrt{2})\psi_1 + (1/\sqrt{2})\psi_2. \quad (2.2)$$

Такая сумма в стандартной квантовой механике означает фактически, что нейтрон (пока его не наблюдают) движется как волна по двум (!) путям одновременно. Такое движение и приводит к наблюдаемой интерференции на детекторах. Если бы нейтрон обладал сознанием, как шутливо

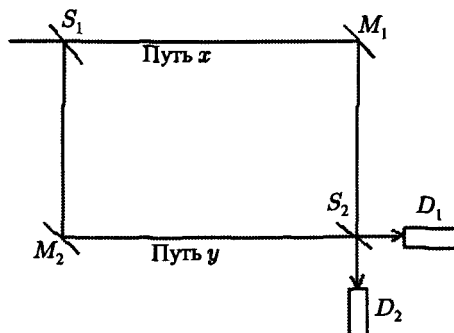


Рис. 4. Нейтронный интерферометр

предполагает Вайдман, то такое движение приводило бы к своеобразной «шизофрении» нейтрона, «раздвоению его сознания». Чтобы избежать такой нежелательной ситуации, в ММИ предполагается, что происходит не расщепление пути нейтрона на два (путь X и путь Y), а «расщепление» миров. После прохождения расщепителя S_1 существуют два нейтронных мира: один из них соответствует волновому пакету ψ_1 , а другой — волновому пакету ψ_2 , и в каждом из этих миров имеется нейтрон со своей собственной траекторией.

Такой подход является в сущности квазиклассическим, или, точнее, попыткой спасения классического подхода. При этом возникает вопрос: раз нейтрон в одном из миров движется по вполне определенной траектории, то что означает сумма в формуле

$$\Psi_{\text{нейтрон}} = (1/\sqrt{2})\psi_1 + (1/\sqrt{2})\psi_2?$$

Если существует два мира и в каждом из них нейтрон движется по вполне определенной траектории, то мы не имеем права писать такого рода сумму, поскольку это есть не что иное как суперпозиция амплитуд. Более точно, можно оперировать не с амплитудами вероятности, а просто с вероятностями событий. При этом *априорно*, в отличие от стандартной квантовой механики, совершенно невозможно рассчитать численное значение этой вероятности в самом общем случае, что, кстати, и отмечается самим Вайдманом.

Если же все-таки выписывается сумма такого рода, то это означает, что рассматриваемые миры интерферируют, взаимодействуют друг с другом, и в этом случае опять не избежать «нейтронной шизофрении» в том или ином виде. Как следует в дальнейшем из статьи, именно такой случай и анализируется. Мир в целом описывается уравнением Шредингера, и его состояние может быть разложено на сумму ортогональных состояний (см. формулу 2.1). Но это разложение и есть суперпозиция, т. е. не только сосуществование этих миров, но и их взаимодействие, а точнее интерференция. Последнее же противоречит, в частности, тому утверждению Вайдмана, что в интерферометре нейтрон движется по определенной траектории (в своем мире), что исключает эту интерференцию. Еще более точно: если уравнение Шредингера описывает «расщепление» мира на копии с той или иной мерой, то придется объяснять интерференцию миров, опять-таки некое «скрещенное», связанное их состояние.

Следующее замечание касается редукции волновой функции (ВФ). Отрицание редукции волновой функции является чуть ли не основой во всех рассуждениях сторонников ММИ. Тем не менее, редукция ВФ — все же необходимый элемент стандартной квантовой механики. В частности, и Бор, и Шредингер не принимали редукции (последний иронически называл ее «скачком» теории). В КМ фактически используется постулат

Борна, который говорит: для того, чтобы вычислить вероятность наблюдения какого-либо собственного значения a_1 оператора A в момент времени t_1 , надо найти проекцию вектора $|\Psi(t_1)\rangle$ на вектор $|a_1\rangle$ и возвести ее модуль в квадрат:

$$p(a_1, t_1) = |\langle a_1 | \Psi(t_1) \rangle|^2 = |\langle a_1, t_1 | \Psi_0 \rangle|^2 = \langle \Psi_0 | P(a_1, t_1) | \Psi_0 \rangle^2, \quad (2.3)$$

где $P(a, t)$ — проекционный оператор (проектор), а $\langle a, t |$ — собственный вектор оператора $A(t)$. Такой подход дает алгоритм сравнения теории и эксперимента, но ничего не говорит о том, что происходит в результате взаимодействия микрообъекта с измерительной аппаратурой.

В отличие от такого подхода существует постулат Дирака (его также приписывают фон Нейману), который утверждает, что происходит редукция ВФ в результате измерения. Однако это проекционное правило фон Неймана практически никогда не используется при количественных расчетах. Необходимо признать (хотя автор данной работы и является сторонником концепции редукции ВФ), что редукция — это скорее факт интерпретации квантовой механики, а не необходимый элемент ее математического аппарата.

Существует ли редукция ВФ или нет — это вопрос физический, и опыт в состоянии на него ответить. Теоретическая возможность такого эксперимента была показана Д. Н. Клышко [Клышко, 1998]. Сейчас же можно утверждать, что «постулат Эверетта» ещё в большей степени не вписывается в математику КМ, нежели редукция ВФ. Если редукции (если она все-таки существует) мы можем сопоставить проекционный постулат Борна, который отражает эксперимент (нахождение вероятности наступления тех или иных событий), то ММИ прямо вводит некое совершенно излишнее, не физическое (скорее метафизическое) и совершенно эстетически неприемлемое решение. Обычный аргумент состоит в том, что редукция — это не элемент физической теории, но мгновенный скачок, который никак теоретически не описывается. Но можно спросить авторов различных вариантов ММИ, а описывается ли мгновенное возникновение множества копий миров в их интерпретациях? Не есть ли этот процесс — «коллапс наоборот», или «антиколлапс», возникновение (я бы усилил — «творение из ничего») сразу целого множества миров, — в противовес тому, что в обычной КМ происходит редукция всего лишь какой-то одной волновой функции?

Согласно стандартным представлениям квантовой механики, во время измерения происходит мгновенный коллапс волновой функции. Последние исследования показывают, что в общем случае для сложных систем декогеренция может происходить постепенно, по крайней мере, на очень малом масштабе времен, и этот процесс может быть оценен количественно. Работы Войцеха Зурека и его коллег из Национальной лаборатории

Лос-Аламоса (США) показали, как интенсивность процесса декогеренции можно измерить с помощью эффекта под названием «эха Лошмидта»¹.

Этот результат хотелось бы отметить особо. Одним из аргументов в пользу истинности многомировой интерпретации квантовой механики её сторонниками является акцент на том, что редукция волновой функции не вписывается в линейный аппарат квантовой механики и от него необходимо отказаться. Однако последние работы, упоминавшиеся выше результаты Зурека, показывают, что редукция волновой функции — реальный физический процесс, что и выбивает из-под ног сторонников ММИ один из главных аргументов. Вообще против истинности ММИ существуют серьезные теоретические возражения, которых ее сторонники в своих работах предпочитают не касаться. В свое время таких испытывавших интерес к этой интерпретации теоретиков как М. Гелл-Манн и Хартль эти аргументы заставили обратиться к поиску других возможных интерпретаций КМ. Упомяну, прежде всего, два таких основных аргумента.

Первое. В многомировой интерпретации существует т. н. проблема предпочтительного базиса. В результате измерения волновую функцию прибора и исследуемого квантового объекта записывают при помощи разложения по определенному базису в гильбертовом пространстве. Однако, как следует из теоретического аппарата квантовой механики, различные базисы эквивалентны. Отсюда следует, что использовать только один из базисов для получения информации наблюдателем — некорректно.

Второе. Математический анализ структуры КМ² не позволяет говорить о существовании различных Вселенных в том же смысле, как существует и наблюдаемый нами мир. Это связано с так называемой теоремой Кошена—Шпекера, которая утверждает, что для квантовых систем со спином единица и больше не существует т. н. функции «истинности», принимающей значения «истинно» и «ложно». Поэтому само понятие *существования* является некорректным при применении к мирам, где реализуются различные квантовые свойства. Андрей Гриб, анализировавший трудности ММИ отмечает, что все эти трудности интерпретации КМ скорее обращают нас к хорошо известной идее потенциальной возможности, с чем мы абсолютно согласны. По сути дела ММИ, несмотря на свой радикальный характер, сводит множество миров к совокупности обычных классических миров, что редуцирует все особенности КМ. Совершенно ошибочно волновая функция интерпретируется классически, и то, что мы не можем наблюдать в рамках стандартного подхода в КМ, объявляется наблюдаемым, следуя логике сторонников ММИ, в каком-то параллельном мире. Теорема Кошена—Шпекера фактически и утверждает, что волновую функцию нель-

¹ Дейвид Дарлинг. Телепортация. Прыжок в неизвестное. М.: ЭКСМО, 2008. С. 203.

² См., напр., Grib A. A., Rodrigues W. A. Jr. Nonlocality in Quantum Physics, Kluwer-Plenum, 1999.

зя понимать классически, в квантовой механике просто принципиально иное понимание идеи *существования*.

На наш взгляд, чтобы попытаться разрешить проблему интерпретации квантовой механики, надо прислушаться к мнению де Бройля, согласно которому все это «нужно переосмыслить на другой основе». Для этого сначала необходимо выяснить, что же, собственно, лежит в основе классических представлений естествознания и от чего необходимо будет отказаться.

ГЛАВА IV

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ФИЛОСОФСКИЕ ОСНОВАНИЯ КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ОНТОЛОГИИ

§ 1. Философские основания классической онтологии

Как подчеркивал В. Гейзенберг, дать адекватную трактовку квантовой механики возможно лишь при изменении наших онтологических воззрений. Последовательное же «переосмысление на другой основе» такой онтологии, как замечал Луи де Бройль, еще никому успешным образом не удавалось. И прежде чем переходить к построению новой квантово-теоретической онтологии, т. е. новому философскому основанию, необходимо проанализировать, какого рода философские построения лежат в основе классических, новоевропейских представлений.

Анализ такого рода проводился, в частности, В. Гейзенбергом и В. А. Фоком. В классической физике общей чертой всех способов описания было молчаливое предположение о **несущественности воздействия средств наблюдения на измеряемый объект**. «Предполагалось, что для любого объекта всегда существует такой „осторожный“ способ его наблюдения, который никак не влияет на его поведение; при таком предположении можно было говорить о поведении объекта самого по себе и вообще не ставить вопросы о средствах наблюдения... Основная черта классического способа описания явлений состоит в допущении полной независимости физических процессов от условий наблюдения. Предполагалось, что всегда можно „подсмотреть“ явление, не вмешиваясь в него и не влияя на него (мы говорим об „осторожном“ способе наблюдать объект).

Правда, если „подсматривать“ физические процессы с разных точек зрения (и, соответственно, описывать его в разных системах отсчета), то

вид процесса будет различным. Так, свободное падение тела может оказаться в одной системе отсчета прямолинейным, а в другой — происходит по параболе. Но зависимость формы явления от движения системы отсчета всегда учитывалась; учет этой зависимости достигается путем простого пересчета от координат одной системы отсчета к координатам другой. Изменение формы явления, допускающее такой учет, очевидно, не вносит в ход самого явления ничего нового; поэтому можно было по-прежнему говорить о независимости самого явления от способа наблюдения» [Фок, 1970. С. 6–10].

Об истоках как классических, так и новых представлений, диктуемых квантовой механикой, неоднократно писал В. Гейзенберг. «...В современном естествознании ...те составные части материи, которые первоначально считались последней объективной реальностью, вообще нельзя рассматривать „сами по себе“, они ускользают от какой бы то ни было объективной фиксации... Целью исследования поэтому уже не является познание атома и его движения „самих по себе“, т. е. вне зависимости от экспериментально поставленного вопроса. Мы с самого начала находимся в средоточии взаимоотношений природы и человека, и естествознание представляет собой только часть этих отношений, так что общепринятое разделение мира на субъект и объект, внутренний мир и внешний, тело и душу больше неприемлемо и приводит к затруднениям... Старое разделение мира на объективный ход событий в пространстве и времени, с одной стороны, и душу, в которой отражаются эти события, — с другой, иначе говоря, картезианское различие *res cogitans* и *res extensa* уже не может служить отправной точкой в понимании современной науки» [Гейзенберг, 1987. С. 300–301, 303–304].

Таким образом, отправную точку зрения классической науки Гейзенберг видит в картезианском дуализме, различении *res cogitans* и *res extensa*, субстанции мыслящей и субстанции протяженной. Метафизика Декарта явилась основой для формирования всей современной картины мира. По словам Гегеля, именно с Декартом философия впервые обрела твердое основание.

Рассмотрим кратко основы декартовской онтологии и попытаемся выявить предпосылки и фундамент картезианской метафизики, которые до сих пор в значительной степени существенным образом определяли видение мира.

Свои важнейшие для естественных наук мысли Декарт излагает во «Введении в метод». На основе универсального и рационального мышления он пытается найти полностью новое, и как он думает, твердое основание для построения философской системы. Откровение он больше таким основанием не считает, а также отрицает возможность некритически принимать то, что воспринимается органами чувств. Декарт начинает со

своего знаменитого метода сомнения. Он сомневается во всем, что поставляют нам органы чувств, сомневается в выводах рассуждений и наконец приходит к своему знаменитому: «*Cogito, ergo sum*». Я не могу сомневаться в своем существовании, так как это следует из того факта, что я размышляю. После этого Картезий доказывает существование Бога, во многом следуя методам средневековой схоластики. Наконец он выводит существование мира из факта, что Бог нам привил предрасположенность веры в существование мира, так как невозможно предположить, что Бог является обманщиком.

В то время как античная философия пытается свести многообразие вещей и явлений к некоторому единому первоначалу, у Декарта возникает изначальная разделенность, и именно через нее он и пытается объяснить мир. Разделенность сущего на Я, мир и Бога — краеугольный камень философии Декарта. Как отмечает Гейзенберг, по сравнению со средневековой философией, также рассматривающей эти три рода сущего, «разделенность между материей и духом или между телом и душой, которая началась с философии Платона, стала теперь полной. Бог отделен как от Я, так и от мира. Бог фактически возносится так высоко над миром и людьми, что он выступает в конце концов в философии Декарта только в качестве общего изначального пункта, который устанавливает отношение между Я и миром... Однако эти три части... нечто теряют в своей сущности, если какая-нибудь из них рассматривается как независимая от двух других» [Heisenberg, 1984. S. 63].

Трудности картезианского разделения были заметны с самого начала. Так, Декарт, при различении *res cogitans* и *res extensa*, животных полностью отнес к *res extensa*; при этом они стали ни чем иным, как машинами. С другой стороны, непонятно, как тело и душа, будучи совершенно разными и независимыми сущностями, относясь соответственно к *res extensa* и *res cogitans*, образуют нечто единое целое — человека.

Несмотря на неудовлетворительность декартовской разделенности сущего, нельзя не согласиться с В. Гейзенбергом, когда он пишет: «Философия и естественные науки последующего периода развивались на основе дуализма между *res cogitans* и *res extensa*... Влияние картезианского дуализма на человеческое мышление следующих столетий вряд ли можно переоценить... Ньютоновская механика и все другие составные части классической физики, которые развивались по ее образцу, основывались на предположении, что можно описывать мир, не говоря о Боге или о нас самих. Такого рода возможность служила чуть ли необходимой предпосылкой для всех наук» [Heisenberg, 1984. S. 64, 66].

Переходя, однако, к анализу ситуации, существующей в современной физике, Гейзенберг критикует принципиальные основания декартовской метафизики, подвергая сомнению адекватность проповедуемой ею разделенности на субъект и объект, на мыслящую и протяженную субстанции.

Уже в самой ранней, копенгагенской трактовке квантовой механики неустранимой особенностью является активная роль наблюдателя, подчеркивает Гейзенберг. Современное естествознание «описывает и объясняет природу не так просто, что она является как бы сущей „самой по себе“. Она скорее является частью взаимной игры между природой и нами самими» [Там же. S. 66]. Состояние квантового объекта описывается волновой функцией. Волновая функция в общем виде представляет собой суперпозицию состояний и описывает плотность вероятности тех или иных допустимых процессов. При измерении происходит коллапс или редукция волновой функции, фиксируется вполне определенное значение физической величины, причем заранее предсказуемое только с некоторой вероятностью, даваемой волновой функцией. То, что получится при наблюдении, принципиально зависит от экспериментальной установки, как мы уже видели выше, например, в экспериментах с отложенным выбором. Отсюда часто делается вывод о невозможности разделения между субъектом и объектом, духом и материей, о необходимости рассмотрения мира как единого целого. Насколько оправдан такой холистический вывод из несомненного факта зависимости квантового процесса от его наблюдения?

Чтобы ответить на этот вопрос необходимо, как нам представляется, еще раз вернуться к декартовскому понятию субстанции.

§ 2. Идея субстанциальности

Предварительно остановимся на генезисе самого понятия «субстанция». В данном вопросе мы будем следовать в основном работе А. Юрченко «К проблеме понятия „субстанция“ в картезианской философии», где дается, на наш взгляд, очень хороший историко-философский анализ как самого этого понятия, так и его понимания в различные исторические периоды.

«Весь период истории существования термина „субстанция“ заключает собой многовековую преимущественную, ставшую традиционной, практику использования последнего в значении относительно самостоятельного, самодовлеющего бытия, бытия самого по себе, т. е. выражаясь другими словами, в значении объекта как такового, вещи, предмета вообще. Понятию „субстанция“ противостоит, напомним, понятие „акциденция“, которым охватываются свойства, отношения, функции и прочие характеристики объектов реальной действительности. В отличие от субстанций, акциденции не обладают самодостаточным бытием. Они актуализируются не „в себе“, а в „другом“ и в своем существовании зависят от субстанций, т. е. — в буквальном переводе — „подстоящих“, „стоящих под“ ними носителей, субстратов.

В русле именно этой терминологической (и доктринальной) традиции сформировался философско-онтологический лексикон (и концепция), в частности, и у Декарта. В этом легко можно убедиться, просто сопоставив принадлежащее последнему определению субстанции с воспроизведенными выше. Однако прежде, полагаем, целесообразнее будет рассмотреть некоторые соответствующие случаю элементы картезианской онтологической концепции вообще» [Юрченко, 1991. С. 49–50].

Что же у Декарта понимается под субстанцией? Касаясь проблемы дифференциации «вещей, которые мы рассматриваем как имеющие некоторое существование», он, в частности, пишет: «Под субстанцией мы можем разуметь лишь ту вещь, коя существует, совершенно *не нуждаясь для своего бытия в другой вещи*» («Начала философии», I. 51).

По Декарту, применительно к тварному миру субстанциями являются те из реалий объективной действительности, которые, исключая каузальную зависимость от Бога как Творца, существуют или могут существовать «сами по себе», то есть «без помощи какой-либо сотворенной вещи» [там же, I. 64,52]. Ведь «общее учение философов», как замечает Бейль в своем «Историческом и критическом словаре», гласит, что «существовать само по себе» в контексте определения субстанции «означает лишь не зависеть от некоего другого объекта» [Бейль, 1968. С. 53]. «Этим субстанции отличаются от акциденций. Последние, во избежание смешения иден, какую мы должны иметь о субстанции, с той, какую мы „должны иметь о ее свойствах“, недопустимо полагать „как вещи, существующие сами по себе“, вне субстанций „в которых они даны“ и от которых зависимы („Первоначала философии“, I. 64), поскольку акциденции, имея бытие „только в другом“, „реально никогда не существуют в отдельности“ и не могут быть поняты „без субъекта“, ими обладающего» [Юрченко, 1991. С. 51].

Итак, касаясь философии Декарта, являющейся метафизическим фундаментом классического новоевропейского мышления, мы находим, что в ее основе лежит идея субстанции, то есть «сущего самого по себе». Переход к современному физическому познанию влечет за собой отказ от подобных субстанциалистских представлений. Объекты микрофизики не существуют «сами по себе», а «выходят к существованию» в зависимости от экспериментально поставленного вопроса. В квантовой механике имеется «относительность к средствам наблюдения» по Фоку.

Сталкиваясь с проблемой существования объектов в квантовой механике, мы сталкиваемся с проблемой субстанциальности. Необходимо отметить, что здесь речь идет не о собственно понятии субстанции, как субстрате, носителе тех или иных свойств, а — еще раз отметим — об идее субстанциальности, то есть об идее независимого существования объекта.

Именно этому вопросу значительное внимание в своей работе «*Sein und Zeit*» уделяет М. Хайдеггер, касаясь проблемы внешнего, т. е. вещно-

го, материального мира. Он показывает, что идея бытия, к которой восходит онтологическая характеристика *res extensa*, являющаяся основой определения «мира» у Декарта, есть идея субстанциальности. Повторяя данное Декартом определение субстанции, гласящее, что под ней «мы можем разуметь лишь ту вещь, коя не нуждается в своем бытии в другой вещи», Хайдеггер указывает, что «бытие субстанции характеризуется через „не-нуждаемость“ (*Unbedürftigkeit*), то есть независимость» [Heidegger, 1993. S. 92]. «Что в своем бытии не нуждается в другом сущем, это и удовлетворяет в собственном смысле идее субстанции — такое сущее и есть *ens perfectissimum*» (здесь и далее перевод мой — А. С.) [Там же. S. 92] — «вещь совершеннейшая». Здесь выделяется не сама философская категория субстанции, вместе с сопряженными с ней понятиями «атрибут», «акциденция» и др., а понятие субстанциальности.

Как мы только что отметили, по Хайдеггеру, «...конститутивным моментом субстанциальности ...является „не-нуждаемость“» [Там же. S. 92], и понятие субстанции фактически характеризует *ens perfectissimum* — вещь совершеннейшую. Но такой вещью может быть только Бог. «Все сущее, что не является Богом, требует сотворения в широком смысле и поддержания в своем бытии... Так что только в определенном смысле сотворенное сущее можно назвать субстанцией. Это сущее хотя и является в отношении к Богу „сохраняемым“, однако в области сотворенного сущего, „мира“ в смысле *ens creatum* [вещь сотворенная — А. С.]... существует таковым, что не нуждается в другом сущем» [Там же. S. 92].

Таким образом, кратко, в двух тезисах, основополагающие положения онтологии Декарта можно было бы выразить следующим образом:

- I. Субстанциальность сущего, конститутивным моментом чего является понятие независимости, существования «самого по себе».
- II. Разделенность субстанций, если ограничиться областью сотворенного сущего, распадение на *res cogitans* и *res extensa*.

Все последующее развитие науки и философии Нового времени непосредственно связано с декартовскими основополагающими принципами. Абсолютное большинство современных физиков и философов, указывая на современный этап развития науки, говорят о необходимости отказа от картезианской онтологии. Соглашаясь с этим, мы должны тем не менее задаться вопросом: от какого именно ее аспекта нужно отказаться? Как мы видели, онтологическая идея Картезия имеет два основных аспекта. Какой из них должен быть пересмотрен для того, чтобы можно было сформулировать онтологические допущения, «покрывающие» все особенности квантово-механического описания реальности микромира?

Вслед за В. Гейзенбергом и Н. Бором исследователи часто указывают на необходимость отказа от дуализма субстанций, от разделенности сущего на материю и сознание, т. е. от второго из выделенных выше принципов

декартовской онтологии. «Именно эту разделенность и должны мы, в соответствии с развитием физики в наше время, подвергнуть критике», — утверждает В. Гейзенберг [Heisenberg, 1984. S. 64].

До сих пор подобные рассуждения никем не подвергались конструктивному анализу: они либо принимались, либо отвергались. Схема рассуждений, на основании которой критикуется дуализм, достаточно проста:

- а) в классическом естествознании допускалось существование вещей «самих по себе»;
- б) квантовая механика указывает на неадекватность такого подхода;
- в) классические воззрения восходят к декартовской онтологии, и поэтому
- г) мы должны от нее отказаться;
- д) следовательно, необходимо признать, что в природе разделенность на *res cogitans* и *res extensa* более не имеет смысла, они образуют единство.

В этой цепочке рассуждений делается переход от отказа от понятия существования «самого по себе» к отказу от разделенности сущего на сознание и материю. Однако важно — и никем до сих пор не отмечено, — что в декартовской онтологии понятие «независимости», «существования самого по себе» содержится дважды — и в определении самой субстанции, и в постулате о независимом существовании двух субстанций.

Применительно к результатам квантовой механики существуют две возможности:

- 1) либо рассматривать субстанции материальную и духовную как неразложимое единство,
- 2) либо переосмыслить саму идею субстанциальности.

Чаще всего в методологии рассматривается первая возможность, хотя квантовая механика дает основания именно для пересмотра идеи субстанциальности, идеи существования вещей, объектов «самих по себе». Для пересмотра же декартовской идеи дуализма мыслящей и протяженной субстанций квантовая механика не дает никаких оснований, поскольку все утверждения об участии сознания в микроскопических процессах являются, как мы видели выше, весьма проблематичными. Чтобы еще более точно оттенить нашу позицию, можно выразиться и более определенно. Квантовая механика вообще не затрагивает проблему взаимоотношения духа и материи и касается лишь проблемы описания материально сущего. Возникающие же постоянно попытки привлечения «сознания» при трактовке микроявлений диктуются авторам теми или иными метафизическими или мистическими установками, не имеющими, как правило, никакого отношения к квантовой теории.

Отметим также логическую необоснованность перехода от критики идеи субстанциальности (существования *самого по себе*) к идее единства

материи и сознания. С нашей точки зрения, в декартовской онтологии тезисы о субстанциальности сущего и разделенности субстанций, хотя и связаны друг с другом, являются независимыми, и из критики указанного выше первого аспекта декартовской онтологии (идеи субстанциальности) еще никак не следует ложность второго (разделенности мыслящей и протяженной субстанций). Действительно, как мы показали выше, материал квантовой механики дает основание для обоснованной и последовательной критики только идеи «сущего самого по себе», объекта, который существует независимо от экспериментальной установки, но вовсе не идеи существования объекта вне и независимо от сознания. Попытка же теоретического обоснования идеи включенности «сознания» на основе анализа фон Неймана, Лондона и Бауера является, как мы видели, неудачной.

Неадекватно и истолкование экспериментов с отложенным выбором в статье Дж. Хоргана «Квантовая философия» [Хорган, 1992]. Разбирая этот эксперимент, Хорган, вслед за Р. Манделом, делает вывод о том, что путь, выбираемый фотоном в установке, зависит лишь от одной «угрозы узнать», по какому из путей он будет проходить, а не от какого-либо физического вмешательства. В такой трактовке не то что сознание, но просто «знание», и даже «потенциальное знание», влияет на ход эксперимента.

Однако суть дела обстоит прямо противоположным образом. То, как будет распространяться фотон, зависит от того, ставится ли преграда на пути дополнительных фотонов или нет. Все дело не в каких-либо ментальных процессах, а в наличии или отсутствии вполне осязаемой физической перегородки, разрушающей изначальную скоррелированность двух групп фотонов. Аналогичным образом обстоит дело и в ЭПР-эксперименте, модифицированным аналогом которого фактически и является эксперимент с отложенным выбором. (Здесь необходимо отметить, что схема такого эксперимента возникла как попытка улучшения опытов Аспека, являющихся фактически воплощенным ЭПР-экспериментом).

Таким образом, мы приходим к выводу, что нет веских оснований для отказа от второго аспекта декартовской онтологии и что в действительности должно переосмысливаться понятие «сущего самого по себе», идея субстанциальности. Именно это и позволяет по-новому взглянуть на все проблемы квантовой механики, включая проблемы объективности и субъект-объектных отношений.

Так, на основании проведенного выше анализа можно легко ответить на утверждения постмодернистских философов науки о том, что в современной науке утерян критерий объективности. Здесь также упускается из виду существенная неоднозначность, а точнее, двусмысленность понятия объективности. Термин «объективное», наряду со значением а) существующего вне и независимо от сознания, имеет и значение б) существующего «самого по себе». Последнее значение чаще всего понималось как «объ-

ектность». Да, объекты не существуют «сами по себе», но отсюда вовсе не следует, что наше сознание каким-то образом их продуцирует.

Другой аспект этой проблемы состоит в том, что сторонники постмодернистских концепций смешивают два других аспекта объективности: «одна из них — это проблема *объектности* описания (термин Э. Шредингера), т. е. описание реальности такой, какой она существует сама по себе, без отсылки к наблюдателю. Другая — проблема объективности в смысле адекватного описания действительности.

В методологическом сознании оба понятия часто оказываются неразличимыми, как бы „склеенными“, хотя на самом деле речь идет о разных вещах. И это порождает путаницу в аргументации и спорах» [Мамчур, 2002. С. 125]. Их же необходимо различать. Да, объектность описания оказывается невозможной. Касаясь же объективности «в смысле адекватности теоретического описания реальности действительному положению дел в мире..., можно смело утверждать, что квантовая теория объективна в той же мере, что и классическая физика» [Мамчур, 2002. С. 127]. Квантовая механика подтверждается абсолютно всеми экспериментальными данными, и «физики, по крайней мере те, которые придерживаются стандартной интерпретации квантовой механики, убеждены, что эта картина верна, что сколь бы странной она ни была, в ней зафиксировано, пусть относительное, но знание о микромире» [Мамчур, 2002. С. 127].

И из этой теории, из множества ее экспериментов можно извлечь вполне определенный урок: реальность нельзя рассматривать как собрание объектов, «сущих самих по себе». Переосмысление последнего понятия (см. ниже) приводит с необходимостью к идее «расколотого» бытия — его разделенности на бытие возможное и бытие актуальное, а точнее, — заставляет рассматривать модусы бытия имманентного и трансцендентного.

Идея субстанциальности, являясь фундаментальной для классического новоевропейского мышления, фактически никогда не формулировалась явным образом (исключением является лишь философия М. Хайдеггера), в отличие от идеи разделенности сущего на *res cogitans* и *res extensa*. Эта неясность и выдвигала на первый план декартовский дуализм, от которого и предлагалось отказаться в свете того нового, что привнесла в гносеологию квантовая механика. При этом, повторим, упускалось из виду то, что понятие независимости, «существования самого по себе» содержится в картезианской картине мира дважды: в самой идее субстанциальности сущего и в утверждении о разделенности субстанции на мыслящую и протяженную.

После того как из физики в XVIII в. исчезло само понятие субстанции, идея субстанциальности существовала имплицитно, проявляясь то в идее качества, то в идее фундаментального свойства и т. п.

Впервые на фундаментальность этого понятия (в связи с развитием новой концепции человеческого существования — *Dasein*) указал М. Хай-

деггер. Человек немецким философом мыслится не как декартовский субъект («*substantia finita*», «конечная субстанция» — обозначение человеческого сознания в системе Декарта [Хайдеггер, 1993. С. 55], который только и существует в подлинном смысле «сам по себе», является истинным подлежащим), — определяющим здесь является понятие открытости («Это „Да“ [в *Dasein* — А. С.] в „Бытии и времени“... должно обозначать открытость» [Хайдеггер, 1992. С. 87]) и тесно связанное с ним понятие возможности. Хайдеггер, таким образом, осуществляет отход от традиционного использования понятия субстанциального и переходит к новой категориальной «сетке» (в данном случае только для категории человеческого существования).

§ 3. Основные понятия квантовой онтологии и метафизика Аристотеля

Итак, следуя совету де Бройля попробовать переосмыслить «все на другой основе», мы изначально отказываемся от такого онтологического понятия как субстанциальность и тем самым сталкиваемся с необходимостью построения новой квантовой онтологии.

Разбирая выше принцип суперпозиции, мы рассматривали мысленный опыт из статьи В. Гейзенберга «Язык и реальность в современной физике» — эксперимент с атомом, находящимся в ящике с перегородкой. Отмечая особенности квантово-механического описания и квантовой логики, Гейзенберг также настаивает на создании квантовой онтологии. «Модифицированная логика квантовой теории неизбежно влечет за собой модификацию онтологии. Ведь всякому высказыванию, которое оставляет неопределенным, в правой или в левой половине ящика находится атом, соответствует в природе некая ситуация, не отождествимая с той, когда атом находится в левой половине, ни с той, когда атом находится в правой половине ящика» [Гейзенберг, 1987. С. 222].

Новая онтологическая картина должна послужить основой реконструкции всех выделенных выше особенностей квантовой реальности, таких как принцип суперпозиции, «зависимости от иного», целостности, динамичности и т. д.

Что может стать первой дефиницией в такого рода онтологии? В квантовой механике первым фундаментальным принципом, с чего мы и начали свое изложение, является принцип суперпозиции, утверждающий, что квантовая система (до наблюдения) описывается суперпозицией когерентных состояний.

Как мы видели, этот принцип емко охватывает такие фундаментальные особенности квантового мира, как «сосуществующие состояния», вклю-

чает в себя понятие возможности и ответственен за особенности квантовой логики. «Если поведение атома не наблюдается, то он, в соответствии с принципом суперпозиции, с равной степенью вероятности находится сразу одновременно и в правой и в левой половине (что и противоречит логическому принципу *tertium non datur*). Такого рода „состояния“ Вайцеккер назвал сосуществующими состояниями, указывая тем самым, что оба альтернативных состояния присутствуют в них в качестве возможностей. Понятие состояния могло бы стать первой дефиницией в системе квантотеоретической онтологии», — отмечает Гейзенберг [Гейзенберг, *Op. cit.* С. 222]. И далее — «мы сразу же замечаем, что подобное использование слова „состояние“, тем более выражения „сосуществующие состояния“ столь отличаются от принятого в языке материалистической онтологии, что позволительно усомниться в целесообразности используемой здесь терминологии. С другой стороны, если мы понимаем, что слово „состояние“ означает скорее возможность, чем действительность, и что его можно просто заменить словом „возможность“, получается вполне приемлемое понятие „сосуществующие возможности“ — ведь одна возможность может пересекаться с другой или включать ее в себя.

Отсюда видно, что понятие возможности, игравшее столь существенную роль в философии Аристотеля, в современной физике вновь выдвинулось на центральное место. Математические законы квантовой теории вполне можно считать количественной формулировкой аристотелевского понятия „динамис“ или „потенция“» [Там же. С. 222–223].

Гейзенберг, отталкиваясь от принципа суперпозиции, приходит к выводу о необходимости использования в квантотеоретической онтологии аристотелевского понятия «бытие в возможности» — «динамис». Сам он не развил последовательным образом эти мысли, хотя и высказывал их на протяжении всей жизни. Это связано в значительной степени с тем, что он ошибочно видел в этой категории некий мостик между миром духовным и миром материальным. «Понятие „возможность“ довольно-таки удачно занимает промежуточное положение между объективной материальной реальностью, с одной стороны, и понятием духовной, а потому субъективной реальности — с другой» [Там же. С. 223]. «Здесь совершенно несомненно, что квантотеоретическая „вероятность“ обладает хотя бы частичной объективностью» [Там же. С. 223], но отсюда вовсе не следует, что она «полудуховна».

Фактически те же идеи значительно более последовательным образом развил советский физик В. А. Фок. Обращение Гейзенберга к философии Аристотеля может выглядеть довольно-таки странным на фоне сравнения с квантовой физикой, однако — и это представляется очень интересным — Фок в своей оригинальной трактовке по сути воплотил в реальность философские построения Стагирита. И здесь стоит еще раз вспомнить слова В. Гейзенберга: «Если переход от классической физики к квантовой тео-

рии рассматривать как окончательный, если, следовательно, принимать, что точные науки в будущем будут содержать в своих основах понятие вероятности или возможности, „*potentia*“, то таким образом многие проблемы древней философии предстанут в новом свете, и наоборот, понимание квантовой теории может быть углублено через изучение постановок проблем в философии древних» [Heisenberg, 1987. S. 207]. Так что обращение к философии Аристотеля в связи с теорией квантов имеет свой смысл, и подтверждение этому мы увидим в дальнейшем.

Интересно, что В. А. Фок приходит фактически к тем же идеям, что и В. Гейзенберг, начиная свой анализ, однако, с теории измерения, т. е. с акцентирования момента зависимости «от иного», «относительности к средствам наблюдения» в терминологии Фока.

Анализируя процесс измерения, Фок вводит понятия «потенциальной возможности» и «осуществившегося», которые являются очень близкими аналогами аристотелевских понятий «бытие в возможности» — *dynamis*, *potentia* и «бытие актуальное» — «энтелехейя», «энергея».

Прежде чем перейти к дальнейшему изложению, здесь необходимо остановиться и рассмотреть кратко собственно аристотелевскую концепцию «бытия в возможности» и «бытия в действительности».

Детальный анализ этих понятий проведен в докторской диссертации J. Stallmach'a «*Dynamis und Energeia*» [Stallmach, 1959], разбирается он в работе А. Ф. Лосева «Античный космос и современная наука» [Лосев, 1993] и П. П. Гайденко «Эволюция понятия науки» [Гайденко, 1980], изложению которой этого вопроса мы в данном параграфе в основном и последуем.

Учение о движении Аристотель представляет в тесной связи с учением о природе, *φυσικ*. Главное же в ее сущности Стагирит находит в изменении, в понятии движения в самом широком смысле. В «Физике» (192b 13–15) *φυσικ* определяется как *αρχη κινησις*, начало движения или «распорядительный исход подвижности» по М. Хайдеггеру [Хайдеггер, 1995. С. 38]. Приводимое Аристотелем перечисление родов движения (увеличение и уменьшение, изменение, перемещение) показывает то, что он понимает движение в очень широком смысле (широком, однако, не в значении расширенного, нечеткого или поверхностного, но в значении существенной и основательной полноты). «Под господством механического мышления наук нового времени мы теперь склоняемся к тому, чтобы подвижность в смысле перемещения от одного местоположения в пространстве к другому понимать как основную форму движения и все подвижное „объяснять“, истолковывать по ней» [Хайдеггер, 1995. С. 38–39]. Однако движение для Аристотеля было некоторым способом бытия и имело характер того, что М. Хайдеггер именуется *при-бытием*.

Сама же попытка *понятийного* описания движения сталкивается с известными трудностями и восходит к очень древней апории между бытием

и становлением. Соответственно этому, она оказывается тесно связанной с проблемой небытия, так как к бытию может приходиться только то, что еще в бытии не существует. У элеатов стойкое неприятие мысли о небытии приводило к изгнанию понятия *становящегося* из области «знания» в область «мнения». У Платона во времена его классического учения об идеях мы также видим пренебрежение феноменом становящегося мира, но уже в «Пармениде» и, прежде всего, в «Софисте» он пытается посредством нового подхода «разрыхлить» жесткое понятие бытия у элеатов (и оказывается, добавим, в исходных формулировках, близких к исходным пунктам аристотелевского понятия возможности): «... нам необходимо будет подвергнуть испытанию учение нашего отца Парменида и всеми силами доказать, что небытие в каком-либо отношении существует и, напротив, бытие каким-то образом не существует» (Софист, 241 d).

Однако, опираясь на платоновскую дуалистическую схему «бытие-небытие», оказывается невозможным описать движение, необходимо «найти „лежащее в основе“ третья, которое было бы посредником между противоположностями» [Гайденко, 1980. С. 280]. Остановимся на этом, следуя П. П. Гайденко¹, несколько подробнее.

Введение Аристотелем понятия материи как возможности вызвано его неприятием метода Платона, исходившего из противоположностей «сущее-несущее». В результате такого подхода, пишет Аристотель, Платон отрезал себе путь к постижению изменения, составляющего главную черту природных явлений. «... Если взять тех, кто приписывает вещам бытие и небытие вместе, из их слов скорее получается, что все вещи находятся в покое, а не в движении: в самом деле, изменению уже не во что произойти, ибо все свойства имеются <уже> у всех вещей» (Метафизика, IV, 5).

Этот упрек Аристотеля в адрес Платона, впервые создавшего метод, объясняющий все отдельное исходя из его места в системе, т. е. метод системно-структурный, есть, по существу, тот же упрек, который часто можно слышать по отношению к этому методу. Платон, говоря современным языком, не может объяснить развитие и изменение, ибо его система синхронична и диахрония в ее рамках невозможна, она разрушает эту систему.

«Итак, противоположность бытие-небытие, говорит Аристотель, нужно опосредовать чем-то третьим; таким посредником между ними выступает у Аристотеля понятие „бытия в возможности“». Понятие возможности Аристотель вводит, таким образом, для того, чтобы можно было объяснить из-

¹ Трактовка как платоновского, так и аристотелевского учений, в деталях иногда сильно различается у историков философии. Эти детали зачастую оказываются весьма важными и существенными. Так, например, можно показать, что именно изменение в понимании аристотелевского понимания движения в XVI в. в натурфилософских учениях и создало одни из предпосылок возникновения современной европейской науки [см. Frank, 1998].

менение, возникновение и гибель всего природного и тем самым избежать такой ситуации, которая сложилась в системе платоновского мышления: возникновение из не сущего — это случайное возникновение. И действительно, все в мире преходящих вещей для Платона непознаваемо, ибо носит случайный характер. Такой упрек по отношению к великому диалектику античности может показаться странным: ведь, как известно, именно диалектика рассматривает предметы с точки зрения изменения и развития, чего никак нельзя сказать о формально-логическом методе, создателем которого справедливо считают Аристотеля» [Гайденко, 1980. С. 282].

И этот упрек Аристотеля, как далее замечает П. П. Гайденко, вполне оправдан. Действительно, парадоксальным образом в поле зрения Платона не попадает то изменение, которое происходит с чувственными вещами. Его диалектика рассматривает предмет в его изменении, но только это особый предмет — логический. У Аристотеля же субъект изменения из сферы логической переместился в сферу сущего, а сами логические формы перестали быть субъектом изменения. Сущее у Стагирита имеет двоякий характер: сущее в действительности и сущее в возможности, и поскольку оно имеет «двоякий характер, то все изменяется из существующего в возможности в существующее в действительности... А потому возникновение может совершаться не только — приводящим образом — из несуществующего, но также <можно сказать, что> все возникает из существующего, именно из того, что существует в возможности, но не существует в действительности» (Метафизика, XII, 2).

Понятие *δυνάμις*, *dynamis* имеет несколько различных значений, которые Аристотель выявляет в V книге «Метафизики». Два главных значения впоследствии получили и терминологическое различие в латинском языке — *potentia* и *possibilitas*: их часто переводят как «способность» и «возможность» (ср. нем. *способность* — *Vermögen*, *возможность* — *Möglichkeit*). «Названием способности (возможности) прежде всего обозначается начало движения или изменения, которое находится в другом или поскольку оно — другое, как, например, строительное искусство есть способность, которая не находится в том, что строится; а врачебное искусство, будучи некоторою способностью, может находиться в том, кто лечится, но не поскольку он лечится» (Метафизика, V. 12).

Аристотель указывает далее возможные значения «способности» и «способного», общим моментом которых является именно отношение их к изменению, движению, переходу из одного состояния в другое. Аристотель различает 1) способность к действию, 2) к страданию, претерпеванию, 3) к переходу в иное (плохое или хорошее), 4) способность к пребыванию в неизменном состоянии, т. е. к устойчивости. [См. Лосев, 1975. С. 95–97]. Так, «строительное искусство» — способность действия построения, согревающее — способность согреваемого, лечашее — способность оздо-

ровляемого и т. д. В другом месте Аристотель разъясняет, что способность претерпевать воздействие («начало изменения, которое находится в другом») связана со способностью оказывать воздействие: «В известном смысле способность действовать и претерпевать воздействие — одна (способным что-нибудь является и потому, что оно само имеет способность испытывать воздействие, и потому, что другое способно к этому под действием его)...» (Метафизика, IX, 1). Примерами способности производить действие являются у Аристотеля «тепло и домостроительное искусство», способности же претерпевать действие иллюстрируются примерами: «жирное горит, то, что определенным образом поддается давлению, ломко» (Метафизика, IX, 1). В одной и той же вещи могут совмещаться и активная и пассивная способность: так, гореть есть пассивная способность жирного, а нагревать другое — его активная способность. Именно потому, что потенция в смысле способности всегда связана с движением, изменением и является условием последнего, она и вводится Аристотелем как понятие, без которого невозможна наука о природе.

«<Все> то, в чем находит себе выражение понятие способности, восходит к первому значению этого понятия; таким началом для способности является начало изменения, находящегося в другом или поскольку это — другое...» (Метафизика, V, 12). Это значение Аристотель и объявляет основным (Метафизика, IX, 1).

Понятие потенции (способности) имеет у Аристотеля в качестве своего коррелята понятие деятельности. Деятельность, как поясняет Аристотель, в известном смысле можно уподобить цели, т. е. тому, «ради чего» существует способность, «ибо как цель выступает дело, а делом является деятельность, почему и имя „деятельность“ (ενεργεια) производится от <имени> „дело“ (εργον) и по значению приближается к „существленности“ (προς εντελεχεια)» (Метафизика, IX, 8). Эти термины — энергей, эргон и энтелехия (от телос — «цель», «конец») самим Аристотелем характеризуются как родственные по смыслу. Иногда Аристотель соотносит потенцию с энтелехией (энтелехия выступает как осуществление, завершение того, что существовало потенциально: «Энтелехия способности к росту и убыли... есть рост и убыль, способного возникнуть и уничтожиться — возникновение и уничтожение, способности перемещаться — перемещение» [Физика, III, 1]), иногда с энергией¹.

¹ Вот как характеризует понятия энтелехии и энергей историк философии В. П. Карпов (цит. по [Гайденко, Op. cit. С. 283]: «Противопоставление бытия в возможности или в потенции (δυναμει ον) бытию актуальному, находящемуся в состоянии реализации, завершения или энтелехии (εντελεχεια ον) играет большую роль в философии Аристотеля и применяется им нередко для разрешения спорных вопросов. Наряду с термином энтелехия и даже чаще Аристотель пользуется термином энергей, но с несколько иным оттенком. Энергей обозначает переход потенции в ее реализацию, дея-

Аристотель различает два варианта реализации способности. В одном случае это будет сама деятельность осуществления (например, видение — процесс реализации способности к зрению), в другом — определенный продукт деятельности: скажем, дом есть осуществление способности к строительству.

Как видим, термин *энергея* употребляется Аристотелем как для характеристики деятельности по осуществлению возможности, так и для обозначения результата, продукта деятельности. В первом случае «энергея» — это деятельность; во втором — это скорее действительность; к сожалению, в русском языке отсутствует слово, эквивалентное греческому «энергея», в котором бы оба эти понятия совпадали.

Категория бытия в возможности обладает одной интересной особенностью (важной для целей нашего анализа свойств квантово-механической реальности): «Всякая способность есть в одно и то же время способность к отрицающим друг друга состояниям... Поэтому то, что способно к бытию, может и быть и не быть, а, следовательно, *одно и то же* способно и быть и не быть» (Метафизика, IX, 8). Эту же мысль Аристотель поясняет и в другом месте: «В возможности одно и то же может быть вместе противоположными вещами, но в реальном осуществлении — нет». Как видим, возможность по самому своему понятию содержит противоречие: «способное быть» в то же время есть «способное не быть» — своеобразное нарушение принципа *tertium non datur*.

Подведя итоги рассмотрения понятий возможности и действительности у Аристотеля, можно утверждать, что ему удалось решить онтологический вопрос, а именно: введя понятие бытия в возможности, Аристотелю удастся решить проблему движения, становления в мире чувственном, в сфере сущего.

§ 4. Триадная онтологическая модель реальности

В квантовой теории существует еще один аспект, который напрямую связан с обсуждаемой нами проблематикой и который мы еще совсем не рассматривали. Речь идет о так называемых виртуальных частицах.

В квантовой теории, а точнее, в теории взаимодействия частиц, само взаимодействие представляется как обмен промежуточными — виртуальными частицами. Процессы такого рода изображаются в импульсном представлении т. н. диаграммами Фейнмана. Сами взаимодействующие частицы изображаются на этих диаграммах сплошными линиями; частицы, пе-

тельность, акт; энтелехия — завершение этой деятельности» (Аристотель «Физика», кн. I). Детальный анализ понятий потенции, энергии и энтелехии см. [Stallmach, 1959].

рenessящие взаимодействия, пунктирными (см. рис. 5). Существует бесконечное множество диаграмм, содержащих все возможные варианты взаимодействия исходных частиц с промежуточными, как и промежуточных друг с другом.

Виртуальные частицы описываются во многом как обычные элементарные частицы, т. е. обладают различными типами зарядов, спином и т. д. Однако имеются и существенные отличия. Существует два различных типа интерпретации виртуальных частиц. «Первая состоит в том, что в процессе рождения виртуальной частицы (см. рис. 5, где изображена элементарная вершина, соответствующая рождению такой частицы) не выполняется закон сохранения энергии, т. е. имеет место неопределённость энергии ΔE в состоянии с виртуальной частицей. Эта неопределённость в силу известного соотношения квантовой механики $\Delta E \Delta t \sim h/2\pi$ не может существовать в течение сколь угодно большого промежутка времени, т. е. виртуальная частица не может находиться в асимптотически свободном состоянии и обязательно должна поглотиться в другой вершине взаимодействия. Таким образом, виртуальные частицы как кинематически свободные не могут наблюдаться и фигурируют в теории взаимодействия лишь в качестве промежуточных состояний.

Вторая интерпретация исходит из допущения строгого сохранения энергии в каждом акте рождения или поглощения виртуальной частицы, но при этом предполагается, что сами эти частицы не удовлетворяют обычному релятивистскому соотношению, связывающему энергию, импульс и массу частицы $E^2 - c^2 p^2 = m_0^2 c^4$. В физике это называется „сходом с массовой поверхности“. При этом сходе у фотона может „появиться“ масса, а обычная частица может оказаться в области с мнимой массой ($m_0'^2 < 0$). Вторая интерпретация, будучи математически эквивалентна первой, не столь ясна, но приводит к тем же следствиям — виртуальные частицы кинематически ненаблюдаемы» [Илларионов, 1984. С. 201–202].

Понятие виртуальных частиц ставит ряд принципиальных вопросов, требующих своего разрешения. И это относится к сфере не только теоретической физики, но и философии. Возникают принципиальные вопросы

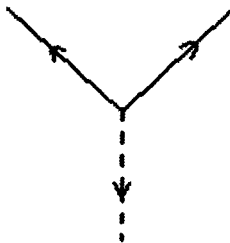


Рис. 5. Рождение виртуальной частицы

статуса существования виртуальных частиц, наблюдаемости, их адекватного описания. Именно последнему вопросу посвящена очень интересная работа С. С. Хоружего «Род или недород», опубликованная в 1997 г. в «Вопросах философии».

В ней рассматривается проблема наиболее общего описания различного рода виртуальных реальностей. В целом затрагиваемые автором вопросы выходят за рамки настоящей работы, однако мы подробно остановимся на этом исследовании. Это имеет смысл, так как Хоружий применяет для описания виртуальных реальностей (ВР) ту же самую триадную аристотелевскую схему, которую в то же самое время рассматривали и мы при интерпретации квантовых явлений (см. [Севальников, 1997]).

С. С. Хоружий совершенно верно констатирует, что все «представления о виртуальной реальности все время... остаются лишь именно представлениями, интуициями, доброй долей лежащими в сфере сырого и недодуманного, противоречивого и туманного. Дистанция, отделяющая „представления“ от научных понятий и философских концептов, пребывает неопределенной и весьма значительной. Между богатством приложений, шириной популярности и теоретической скудостью, шаткостью, необеспеченностью создается осязаемый контраст» [Хоружий, 1997. С. 53]. Работа (и не без оснований) и претендует на то, чтобы преодолеть эту «нежеланную ситуацию».

Предварительно автором выделяется набор главнейших элементов и определяющих свойств виртуальной реальности, которые присущи им во всех сферах их бытия. В качестве наиболее наглядного примера сначала рассматриваются как раз квантовые объекты — виртуальные частицы. Например, «„виртуальный фотон“ в квантовой электродинамике — объект, наделенный всеми теми же характеристиками, что и реальный, „физический“ фотон, однако не удовлетворяющий некоторым существенным условиям и ограничениям на эти характеристики конкретно, его энергия не обязательно является положительной, а его масса не обязательно является нулевой. Аналогично определяется и любая „виртуальная частица“» [Хоружий, 1997. С. 53].

Другой рассматриваемый пример — это «виртуальные траектории» в квантовой механике, играющие центральную роль в фейнмановской интерпретации этой теории.

Совсем другой полюс ВР, это психологическая виртуальная реальность, которая является особого рода образом реальности, тем или иным путем формируемым в сознании. От обычных образов, продуктов сознания и воображения ее отличает то, что она выступает для сознания как «действительная среда определенной деятельности человека — иными словами, человек воспринимает себя как пребывающий в данной реальности, и как таковой действует — так что эта реальность обладает характе-

ристиками обычной эмпирической реальности, однако, разумеется, лишена части ее основных предикатов» [Хоружий, 1997. С. 54].

Обобщая рассмотренные примеры, Хоружий приходит к следующему пониманию ВР: «виртуальная реальность, виртуальные явления характеризуются всегда неким частичным или недоволощённым существованием, характеризуются недостатком, отсутствием тех или иных сущностных черт явлений обычной эмпирической реальности. Им присуще неполное, уменьшенное наличествование, не достигающее устойчивого и пребывающего, самоподдерживающегося наличия и присутствия» [Хоружий, 1997. С. 54].

Эти особенности весьма существенны и налагают вполне определенные ограничения на пути и средства философского анализа ВР. Именно они диктуют условия, какая именно философия пригодна для этих целей.

Отмечается, что «подавляющей частью» все основные направления европейской философии в той или иной мере опираются на аристотелевскую, классическую метафизику, на вполне определенную «трактовку базовых категорий философского дискурса. Эта трактовка предполагает, что в наличной реальности, во всяком ее акте, событии, явлении, в существовании как таковом, совершается актуализация определенных сущностных (эссенциальных) начал, и в первую очередь, самой сущности» [Хоружий, 1997. С. 54].

Любые события, явления при этом, в силу своей обязательной связи с эссенциальным началом выступают как завершённые и «самодовлеющие смысловые цельности». Эти события «заклочают в себе определенную сущность, реализуют определенную форму и цель, или определенную „цель-ко-нец“, телос; и они характеризуются полнотой наличествования, пребывающим и устойчивым присутствием» [Хоружий, 1997. С. 54]. Именно эти свойства не соответствуют, как отмечалось автором, свойствам виртуальной реальности. Отсюда вытекает, что для любого классического философского анализа, «дискурса сущности», как его называет Хоружий, вся сфера существования ВР неотличима от чистого несуществования, она «невидима» в данной «системе координат». Виртуальная же реальность — неаристотелева реальность, и ее анализ, следовательно, требует выхода за пределы классического дискурса, «дискурса сущности». Это возможно лишь при устранении «тотального господства» начал сущности, формы, причины и цели, в такой философии, которая давала бы принципиально иные «концепции возникновения, события и явления». Новый философский дискурс требует менее жестких схем, освобождения от эссенциального детерминизма и телеологизма, который не предполагал бы, соответственно, понятия «устойчивого наличествования» и пребывания.

Что же лежит в основе понятийного строя классического аристотелева дискурса? Здесь отсутствует, не вводится понятие «событие», а есть «то, что отвечает событию» и эксплицируется «трехэлементной структурой, упорядоченной триадой начал

$\delta\upsilon\alpha\mu\iota\sigma \rightarrow \epsilon\nu\epsilon\rho\upsilon\epsilon\iota\alpha \rightarrow \epsilon\nu\tau\epsilon\lambda\epsilon\chi\epsilon\iota\alpha.$

Каждое из трех начал имеет целый спектр значений; укажем важнейшие для нас:

- δυναμις — возможность, потенциальность, потенция;
- ενεργεια — энергия, деятельность, действие, акт, ... осуществление;
- εντελεχεια — энтелехия, действительность, актуализованность, осуществленность.

Расположение начал несколько не произвольно: вся триада есть онтически упорядоченное целое, которое описывает, как *Возможность* посредством *Энергии* претворяется или оформляется в *Энтелехию* [Хоружий, 1997. С. 55].

Эта триада является той базисной структурой, из которой может быть осуществлено описание сущего, неким основным «ядром» философского описания реальности. Она является чрезвычайно гибкой, онтически богатой конструкцией, не в последнюю очередь из-за того, что начала, входящие в нее, весьма емки и многозначны. Так, например, в понятии δυναμις можно выделить четыре основных смысловых значения¹. По-разному могут трактоваться не только сами начала, но и их соотношение, сама триада в целом. Каждая трактовка задает определенный способ и русло философствования, среди них, утверждает автор, существует и такой дискурс, который заведомо не является дискурсом сущности.

Предварительно Хоружий отмечает, что источником, главным элементом свободы и неоднозначности является понятие энергии, центральное звено триады. «Находясь в онтическом пространстве или растворе между потенцией и энтелехией, энергия может занимать в этом пространстве разные положения, сближаясь с одним или другим из „крайних“ начал. Философии, что возникают при этом, крайне различны» [Хоружий, 1997. С. 55].

Классический эссенциализм возникает, когда энергия отчетливо дистанцирована от обеих границ триады. Доминирующим началом при этом выступает энтелехия, а также и сама сущность, т. к. по Аристотелю «сущность как форма есть энтелехия» (Аристотель. О душе, 412 a21), и наоборот, энтелехия есть «сущность, находящаяся в состоянии осуществленности» (Аристотель. Метафизика, 1039 a17). Потенция и энергия при этом четко подчинены и отделены от сущности-энтелехии, как смыслополагающего и производящего принципа всей системы. Вся триада представляет событие как замкнутую и самодовлеющую цельность. Вся реальность оказывается тотально охваченной *сетью закономерности*: «все вещи, явления, события не только реализуют определенные сущности-энтелехии, но также подчинены целой системе эссенциальных принципов — началам

¹ См.: Лосев А. Ф. Бытие, имя, космос. М.: Мысль, 1993. С. 445–455. Там же см. и об ενεργεια.

цели, причины, формы и т. п., действие которых носит характер законов» [Хоружий, 1997. С. 55]. Примером такого чистого дискурса сущности являются собой системы Спинозы, Лейбница, Гегеля и др.

Пример другого философского подхода Хоружий называет *эссенциально-энергийным дискурсом*. Здесь энергия в смысловом отношении максимально приближена к энтелехии. Реальность при таком подходе также определяется энтелехией и сущностью, однако «ближайшим и равносильным, в существенном, даже равнозначным себе принципом» [Хоружий, 1997. С. 56] имеют энергию. «Фундаментальным предикатом сущности и энтелехии утверждается их энергийность: необходимость энергии для них, их наполненность, обеспеченность энергией... Здесь учитывают, что реализация... [сущности — А. С.] необходимо является действием и нуждается в энергии: *всякая сущность энергийна*. Но принимается и обратное: примат сущности требует, чтобы всякое действие и энергия служили реализации известных законов и эссенциальных начал, т. е. *всякая энергия сущностна*» [Хоружий, 1997. С. 56]. Два этих тезиса определяют содержание эссенциально-энергийного дискурса, которому в истории мысли также принадлежит значительная роль. Наиболее ярким и чистым примером является неоплатонизм.

В онтической триаде заложена возможность и третьего подхода, когда энергия удалена от энтелехии и сближена с потенцией. В философии такой подход, как отмечает автор, до сих пор отсутствовал (если не считать дискурсов воли, любви, желания и т. п.).

Энтелехия оказывается здесь отделенною от основного ядра, она является как бы дополнительным и произвольным привнесением. Энтелехия устраняется из события, и ее присутствие может рассматриваться как «приумножение сущностей», устраняемое бритвой Оккама. Теперь в *энергии* концентрируется все существенное содержание события, она становится доминирующим началом в структуре события и не подчинена сущности-энтелехии.

Событие рассматривается теперь совсем иначе. Ему становятся присущи динамичность и открытость вовне, исчезает самодовлеющая замкнутость и завершенность. Предсуществующие цели, причины и формы исчезают, события описывают теперь «чисто энергийную динамику свободной актуализации», допуская множество вариантов и сценариев развития. Она *де-эссенциализируется*: «если прежде энергия была „энергией исполнения“, энергией достижения определенной сущности, цели, формы... — то теперь она делается „энергией почина“ начинательного усилия, исходного импульса выступления из возможности в действительность; приближаясь к *δυνάμις*, она становится чисто динамическим принципом» [Хоружий, 1997. С. 56].

Как считает Хоружий, именно этот дискурс может оказаться адекватным для описания природы виртуальной реальности. По своей внутрен-

ней организации, «грамматике», дискурс такого рода принадлежит «глагольному типу». Что это означает?

Энергия здесь, как помним, изначально отделена от энтелехии-сущности. Она имеет исключительно «деятельностную» природу, т. е. существует лишь в действии и не существует «сама по себе», в самодовлеющем устойчивом пребывании, что характерно для любой обычной сущности. «Не допуская... никакой субстанциализации или гипостазирования, она представляет собой не „имя“, но „глагол“, и в структуре события, а затем и во всем дискурсе, она выступает как предикат, „сказуемое“; тогда как в эссенциальных дискурсах их доминирующий сущностный принцип выступает как грамматический субъект, „имя“, „подлежащее“» [Хоружий, 1997. С. 57].

Новый дискурс рассматривает *бытие-в-действии*, *бытие-в-деле*, бытие как самоосуществленность, которое само по себе самоосуществленностью может и не являться. Энергия выступает как «высказывание о бытии», является глагольным высказыванием, говорящим не о том, *какое* бытие (как в эссенциальном дискурсе), а о том, *каким образом* свершается бытие. Такое «высказывание» является еще предельно общим, нет никакого указания, каким образом это бытие свершается. Такое «бытие-действие» априорно включает в себя самые различные «способы свершения» бытия, и необходимо выяснить, как и каким образом эта априорная возможность «различных бытийных горизонтов в энергийном измерении» реализуется

Для выяснения этого рассматривается язык событий. В классических эссенциальных дискурсах энергия выводит сущность-энтелехию к осуществлению. Событие здесь — изведение *этой сущности*, говоря языком Хайдеггера, в «пребывающее присутствие, в наличие». Его можно охарактеризовать как *событие обналичивания*.

Дискурс энергии, как и классический дискурс, также допускает события обналичивания, т. к. в многообразии возможностей-потенций всегда есть возможность *осуществления*, «возможность выступления в наличествование». Однако теперь это «горизонт *обналичиваемого бытия-действия*». Наряду с этой возможностью существует также горизонт необналичиваемого бытия-действия. Следует подчеркнуть, что речь идет не о двух понятиях энергии, но о едином понятии многообразной энергии — такой, что способна порождать «события различного онтологического содержания и статуса».

Такое свойство «онтологической неоднозначности» демонстрируется на примере «свободной» и «связанной» энергии, относящейся к природной, физической энергии. Философский анализ таких возможностей реализации энергии принадлежит В. В. Ахутину, отметившему в античной мысли «два пути»: «путь, ведущий к стихии, и путь, ведущий к форме», и эти пути «приводят к двум понятиям энергии. Стихия, понятая как... начало движения, есть вечное, неизменно пребывающее изменение форм, транс-

формация. Это и есть действительное бытие, энергия стихии или стихия как энергия. Если же идти противоположным путем (который избирает Аристотель) и понять... начало движения как форму, эйдос¹, то „физически сущее“ определяется как... формирование, в основе которого лежит энергичное бытие формы, ближайшим образом — ее самовоспроизводство» (цит. по [Хоружий, 1997. С. 58]).

Хоружий констатирует далее, что горизонт обналичиваемых событий и есть горизонт «связанной» энергии, т. е. горизонт наличного бытия, где энергия, изводя сущность-энтелехию, оказывается и связанной в некоторую форму. Когда же энергия не связана с сущностью, *деэссенциализована*, то она, как уже отмечалось в самом начале этого анализа, сблизена с потенцией и выступает как «начинательное усилие». Она есть «не столько сформировавшийся акт, сколько лишь побуждение, побудительное движение; и не столько оформившееся движение, сколько чистый импульс, первый толчок или „росток“ движения — *вы-движение, вы-ступление* из стихии потенции — к актуализации (впрочем, хотя и начинательное, но уже выступившее, отделившее себя от потенции отчётливо и определённо, ибо имеющее определённую энергию). Подобная энергия, как и событие, порожаемое ею, *непричастны* никакой форме, никакому телосу; именно в них реализуется чистая деэссенциализованность, инаковость всем эссенциальным началам» [Хоружий, 1997. С. 58].

Далее Хоружий делает важнейший для всего последующего анализа вывод. Такие деэссенциализованные события не имеют длительности, протяженности. «Событие может не иметь связи с формой лишь в том случае, если оно еще не обрело формы, если у него „не было времени сформироваться“: если же оно имеет длительность, у него с необходимостью возникает и форма, и другие элементы эссенциальности» [Хоружий, 1997. С. 59]. Отметим сразу, что именно этот пункт у Хоружего, при всей привлекательности и верности его анализа, представляет собой наиболее слабое место, на чем мы ниже остановим свое внимание (на наш взгляд в этом случае более адекватным является утверждение о наличии *иной темпоральности*).

Что же означает, что «событие не имеет длительности»? Это означает, «что оно имеет „бесконечно малую“ длительность... В свою очередь, „бесконечная малость“... означает несоизмеримость с обычной, конечной протяженностью, какой обладает любой „интервал на оси времени“, временной промежуток, интегрированный в обычную темпоральность наличного бытия» [Хоружий, 1997. С. 59]. Вывод, который отсюда следует, весьма естественен: не-длящиеся события исключены из временного порядка, из темпоральной структуры наличного бытия. Бытие таких событий дискрет-

¹ Заметим, что началом движения у Аристотеля выступает все-таки не форма, а *δυνάμις* — *Прим. авт.*

но, является отдельно сущим. Такое событие-«миг» принципиально единственно, неповторимо и невозпроизводимо. Обычная длительность является определяющим предикатом наличествования, присутствия. Если же событие не принадлежит горизонту наличного бытия, оно принадлежит иному онтологическому горизонту (и не исключено априори, что нескольким горизонтам) — является *необналичиваемым событием*. Хоружий отмечает далее антропологический аспект таких событий: «смысл и содержание этого рода событий раскрываются вполне лишь в свете присутствия человека, играющего ключевую роль в онтологии» [Хоружий, 1997. С. 59]. Этот вывод нам понадобится в дальнейшем, а сейчас остановим свое внимание на другом его важном замечании.

Философский анализ, рефлексия вскрывает давно известный факт из квантовой физики. Открывается сопряженность энергии и времени, в частности, тот факт, что «чистая», «свободная» энергия исключает время как протяженность и пребывание. Далее делается вывод, что необналичиваемые события обладают всеми свойствами, которые ожидаются от виртуальных событий, и горизонт таких событий пригоден для их описания.

В дальнейшем Хоружий останавливает свое внимание на таких необналичиваемых событиях, как события трансцендирования, что само по себе очень интересно, но далеко от целей нашего анализа. Заметим лишь, что события трансцендирования, как и виртуальные события, являются одним из родов бытия-действия.

События трансцендирования характеризуются направленностью энергии на фундаментальные предикаты бытия, на их радикальную трансформацию. В отличие от них, виртуальные события являются «простыми необналичиваемыми событиями», лежат ближе к потенции и «чистой начинательности». «Они осуществляют наименьшее выступление из потенции, представляя собою как бы „минимальные события“, сущие на пороге событийности как таковой... Если события трансцендирования можно рассматривать как преодоление наличествования, и в этом смысле, как своеобразные „события *сверх*-наличествования“, то виртуальные события суть чистое умаление наличествования, или „события *недо*-наличествования“» [Хоружий, 1997. С. 64].

Таким образом, вскрывается определенная структура бытия-действия. На месте одного и единого онтологического горизонта в именных дискурсах возникает три горизонта энергийной онтологии, располагающиеся, по Хоружему, в «онтической упорядоченности», но которые при этом образуют «совместный единый горизонт или измерение бытия-действия:

- событие трансцендирования;
- события наличествования;
- виртуальные события» [Хоружий, 1997. С. 64].

Подводя итоги всему этому анализу, можно констатировать, что в рамках дискурса энергии некие роды событий, интерпретирующиеся как некие онтологические горизонты, располагаются в измерении бытия-действия. Подобные выводы дают лишь начальное и крайне неполное знание об онтологии такого рода в целом. К примеру, мы все еще ничего не можем сказать о свойствах и статусе виртуальной реальности. События трансцендирования, наличествования и виртуальные события предстают пока как набор никак не связанных элементов, лишь как некая «свободная структура», о которой известен лишь факт ее существования. Можно ли установить какую-либо связь? Как убедительно показывает Хоружий, для того чтобы продвинуться к цельной картине энергийной реальности, «взятой в ее связи и движении», необходимо учесть присутствие человека. Уже определяя события трансцендирования, Хоружему приходилось привлекать начала сознания и рефлексии.

Как он утверждает¹ далее, человек, его присутствие означает наличие некоего фокуса, центра или источника, где «сходятся все конкретные образы данного бытия».

«Присутствие человека вносит в философский дискурс кардинальные изменения, характер которых можно расценивать как *переход в новую топологию*: этим присутствием изменяется картография дискурса, меняются его проблемные узлы (*топос*), возникает иная расстановка понятий и иная сеть их связей и отношений. И в первую очередь бытийная картина приобретает связанное единство. В дискурсе энергии человек возникает как энергийный микрокосм; сущее, для которого осуществимы все роды событий и которое выступает, тем самым, как начало связности, Nexus, в целокупном бытии-действии» [Хоружий, 1997. С. 65].

Бытие-действие человека Хоружий определяет как *бытие-бифуркацию*. Горизонты бытия-действия в этом дискурсе оказываются не параллельными, а сходящимися, И бытие-действие человека есть «точка схождения этих горизонтов: оно всегда способно осуществиться как в событии трансцендирования, так равно и в событии наличествования, либо виртуальном событии» [Хоружий, 1997. С. 65].

Положение человека отмечено особой топологией в измерении бытия-действия: «топологией, в которой бытие-действие являет собою „всюду присутствующее“, имманентное онтологическое разветвление (бифуркацию)» [Хоружий, 1997. С. 65].

Это не единственная особенность положения человека в бытии-действии. Здесь Хоружий останавливается на других особенностях онтологической ситуации в топике человека, детально разрабатываемых им на протяжении ряда лет¹. Речь идет о своеобразном онто-диалогическом процес-

¹ См., напр.: Хоружий С. С. После перерыва. Пути русской философии. СПб.: Алетейа, 1994.

се, который имеет непосредственное отношение к рассматриваемым нами виртуальным событиям.

Особое место в топике человека занимают энергии трансцендирования. Как уже отмечалось выше, они тесно связаны с присутствием человека, никак невозможны вне этого присутствия и включают в свою структуру акты сознания и рефлексии. Однако именно здесь обнаруживается коренное отличие этих событий от иных: источник энергии трансцендирования находится вне сферы присутствия человека, эти энергии действуют в человеке, но не зависят от него. Такая природа энергий трансцендирования инициирует *акт обращения*, при котором происходит фундаментальное изменение статуса этих энергий в той точке, где они действуют. Человек опознает их как энергии Иного, в терминологии Хоружего — энергии Внеположенного Истока. Это приводит к тому, что всю онтологическую ситуацию необходимо пересмотреть. Она становится двухцентральной, биполярной. «...Прежде человек — Nexus выступал как единственный энергийный фокус, центр и исток; но с обращением появился также и другой, Внеположенный Исток. Вследствие этого возникает радикальное отделение и противопоставление энергий трансцендирования как „энергий Иного“..., — всем остальным энергиям человека, „здешнего истока“» [Хоружий, 1997. С. 66]. Это разделение становится теперь критерием действительного онтологического различия, в противоположность различию между энергиями наличествования и виртуальными энергиями. Последнее есть не что иное, как различие между двумя родами «здешних» энергий, так что оно не оказывается истинным, полноценным онтологическим различием.

Последний вывод и означает, по Хоружему, «что в онтологии, учитывающей полностью особенности топике человека, виртуальная реальность не выступает как автономный род бытия, онтологический горизонт. Она опознается как своеобразный суб-горизонт в горизонте энергий „здешнего истока“, представляя собою *не род, но недо-род бытия*» [Хоружий, 1997. С. 66]. Это центральный вывод работы Хоружего: «Виртуальная реальность, — недо-выступившее, недо-рожденное бытие, и одновременно — бытие, не имеющее рода, не достигшее „постановки в род“. Это — недо-род бытия в смысле таксономических категорий, равно как и в смысле рождящего бытийного импульса».

Таким образом, Хоружим обрисован общий «онтологический аспект виртуальной реальности», построен онтологический каркас, опирающийся на аристотелевскую триаду, используемую нами выше при описании квантовых явлений. Эта схема является одной из возможных, но не единственной при описании всех явлений «полионтичной реальности», каким и является, по нашему мнению, бытие где мы собственно и пребываем.

Касааясь непосредственно виртуальной реальности, следует отметить, что в этой области все обычные философские понятия нуждаются в пересмотре. Возьмем, к примеру, понятие *возникновения*. В том контексте, ко-

торый только что был рассмотрен, оказывается, что *виртуальные события не возникают и не могут возникнуть*. Действительно, возникновение непосредственно связано с энтелехией, есть *осуществление телоса*, цели, формы, но именно отсутствием всех этих эссенциальных форм и характеризуются явления виртуальной реальности. Но раз они все-таки «возникают», то становится ясно, что речь должна идти о совершенно новом, неклассическом типе возникновения и, соответственно, типе существования. В свою очередь, обобщение понятия *возникновения* приводит с необходимостью к изменению понятий детерминизма и причинности (т. к. с очевидностью отсутствуют формальная и целевая причины). Необходимо также обобщать понятие темпоральности и т. д.

Ко всей этой работе можно приступить лишь при полной продуманности и проработанности всего основного концептуального аппарата, той сетки понятий и категорий, с помощью которой возможно полное и непротиворечивое описание *всех событий* виртуальной реальности. Однако именно здесь обнаруживаются некоторые сложности и неясности, проявляющиеся при критическом анализе предложенной схемы.

Хоружим, по его признанию, обрисован только общий «онтологический аспект виртуальной реальности», построен онтологический каркас, позволяющий ее описать. В целом мы разделяем такой триадный подход в описании ВР (т. к. он идентичен той схеме, которая предложена нами для описания квантово-механической реальности), но ряд вопросов требует существенного уточнения.

Прежде всего, необходимо совершенно точно констатировать, как делает и Хоружий, что не «все существующее есть виртуальность». Указывать на столь очевидное положение приходится в связи с тем, что в последнее время под виртуальными реальностями стали понимать все что угодно — как продукты интеллектуального творчества (театр, литературу, музыку и кино), так и, например, наркоманию, психоз спортивных фанатов и поклонников очередной рок-звезды и многое, многое другое.

Очевидно, что при таком подходе под единое понятие подводятся разнородные социокультурные феномены, что размывает само понимание ВР, не учитывается его специфика и не удастся должным образом провести его анализ. Далее, даже среди тех объектов, которые действительно можно отнести к объектам виртуальной реальности, необходимо провести совершенно четкую дифференциацию. Именно это не учитывается в должной степени абсолютным большинством авторов, в том числе и Хоружим.

Суть этого замечания легко понять, рассмотрев внимательно те примеры ВР, что рассматривает Хоружий.

Первый из них — виртуальные частицы (ВЧ) в современной физике. Это теоретические объекты, в связи с которыми в свое время обсуждалась проблема физической реальности. Как мы рассматривали выше, ВЧ — это объекты в современной квантовой теории поля, наделенные всеми теми

же характеристиками, что и реальные, «физические» частицы, но не удовлетворяющие некоторым существенным условиям и ограничениям на эти характеристики конкретно. Более точно, это частицы, которые имеют такие же квантовые числа (спин, масса, электрический и др. заряды), что и соответствующие реальные частицы, но для которых *не выполняется* обычная (справедливая для реальных частиц) связь между энергией (E), импульсом (p) и массой (m) частицы: $E^2 \neq p^2 c^2 + m^2 c^4$.

Например, для виртуального фотона масса его необязательно нулевая, а энергия не является обязательно положительной. ВЧ характеризуются некоторым «мерцающим» бытием. Ни одна из них не существует тем образом, как обычные частицы, они не обладают бытием наличным, выступают, как бы на мгновение, из потенциальности, полностью никогда не актуализируясь. Это проявляется в так называемой «флуктуации» вакуума, зафиксированной экспериментально (напр., т. н. «лэмбовский сдвиг»).

Другой пример, также рассматривавшийся Хоружим, — это компьютерные виртуальные реальности. Повторим: они представляют собой особого рода образ реальности, формируемый в сознании с помощью современных компьютерных технологий. Это психотехнический образ реальности, в котором, в отличие от обычных образов воображения, человек воспринимает себя как бы пребывающим в данной реальности и где он может тем или иным способом действовать.

Обычно считается, что все типы ВР, как, например, рассмотренные выше, сущностно одинаковы. Однако можно показать их кардинальные различия.

Легко видеть, что виртуальные частицы, хотя и не «существуют» в обычном смысле и именно поэтому виртуальны, тем не менее, обладают сущностью, эссенцией. Сущность дает ответ на вопросы: «Что есть вещь?», «Что такое этот объект?», т. е. выявляет его *чтойность*. С физической точки зрения понятие сущности для элементарных частиц выражается в таких ее параметрах, как масса, заряд, спин и т. д., то есть в тех их свойствах, которые дают возможность их отличия друг от друга. Виртуальные частицы, несмотря на свое «недоволенное» состояние, обладают теми или иными физическими параметрами, т. е. они обладают сущностью. Другое дело, что их сущность и дает им именно такое «мерцающее», «недоволенное» существование.

Совсем иначе обстоит дело с компьютерными виртуальными реальностями. Вот здесь мы действительно вступаем, как и замечает Хоружий, в область не-аристотелева дискурса, область бытия парадоксального и неожиданного, что, по-видимому, и затрудняло до сих пор полноценный философский анализ этой реальности.

Здесь нельзя говорить о чистом *несуществовании*, о невидимости этой сферы. Человек, погружаясь в мир компьютерной виртуальности, легко в ней ориентируется и действует. Однако, несмотря на «существование» этой

сферы, даже ее «осязаемость», она никакой сущностью, на наш взгляд, не обладает.

Более подробный анализ требует вспомнить, что же мы подразумеваем под сущностью, причем в смысле онтологическом, а не в гносеологическом, как рассматривалось это понятие выше.

Согласно античной традиции, рецептированной позднее средневековой философией и логикой, а также и позднейшей метафизикой — сущность есть сущее, характеризующееся самосущим, самодовлеющим бытием, бытием самим по себе (*per se*), в самом себе (*in se*), а не в чем-либо другом (носителе, субстрате, подлежащем), в отличие от бытия случайного, приводящего, акцидентального.

Компьютерные виртуальные реальности, с точки зрения этого определения, никаким самосущим, самодовлеющим бытием, бытием самим по себе, не обладают. Они требуют своего носителя и без него просто не существуют.

Парадоксальность такого бытия состоит в том, что «существует» то, чего по сути *нет*. Реальность такого рода не обладает сущностью, она не-эссенциальна. А раз она не-эссенциальна, то она не может актуализироваться, достигнуть состояния энтелехии, осуществленности. Это и есть то «бытие-действие», о котором говорит Хоружий, чистая область действия, которая никогда не обладает завершенностью, законченностью и в этом смысле *бесцельна*, т. к. энтелехия и есть «телос», конец, цель вещи, которой тут как раз и нет.

Если же мы рассматриваем «горизонт» реальной природы, то мы говорим о принципиальной неустранимости понятия сущности, по крайней мере, для виртуальных частиц, и тогда вся схема Хоружего нуждается в корректировке. Как мы только что пытались показать, «тотальное устранение» эссенциального начала, по крайней мере для ВЧ, является невозможной. Далее, как и все квантовые объекты, виртуальные частицы совершенно не связаны с фактом «присутствия человека», на чем мы подробно останавливались в первой части. (И наоборот, связь компьютерных ВР с «присутствием» человека очевидна).

Не столь очевиден также вывод об отсутствии длительности для всех типов «необналичиваемых событий» [Хоружий, 1997. С. 59]. Для случая компьютерной ВР вполне можно говорить о времени, о длительности ее событий. Иное дело, что речь должна идти об иной темпоральности, *отличности* ее событий от событий обычной реальности, что и констатируется многими авторами. Вывод Хоружего, верный для событий трансцендирования и событий, связанных с виртуальными частицами, не может быть так просто распространен для все типы ВР. Следовательно, его схема нуждается в доработке, чтобы она была способна описать все типы виртуальной реальности.

§ 5. Обобщение модели полионтической реальности

Выше, говоря об описания квантово-механической реальности, мы касались необходимости введения понятия сущности. Его фактически использует и Хоружий, говоря постоянно об эссенциальных характеристиках объектов или, соответственно, о деэссенциальности. Если вспомнить приведенное выше определение, то сущность есть сущее, характеризующееся самосущим, самодовлеющим бытием, бытием самим по себе (*per se*), в самом себе (*in se*), а не в чем-либо другом (носителе, субстрате, подлежащем), в отличие от бытия случайного, привходящего, акцидентального. Если говорить *только* о ее «прямой и обоюдной» связи с энтелехией (см. выше) и не учитывать их различения, то это может приводить к их отождествлению. Однако это неверно.

Во-первых, как мы уже указывали, Аристотель энтелехию соотносит чаще с энергией и характеризует эргон, энергию и энтелехию как родственные по смыслу. Кроме того, Аристотель соотносит потенцию иногда с энтелехией, иногда с энергией. «Наряду с термином энтелехия и даже чаще Аристотель пользуется термином энергейя, но с несколько иным оттенком. Энергейя обозначает переход потенции в ее реализацию, деятельность, акт; энтелехия — завершение этой деятельности» (Аристотель «Физика», кн. I) [Гайденко, 1980. С. 283].

Далее, хотя энтелехия и есть «сущность, находящаяся в состоянии осуществленности» [Метафизика, 1039 a17], между ними имеется важное различие. Энтелехия есть «вышедшее к цели, к концу, у завершенности». Но становится *что-то*, приходит к бытию то, чего в нем еще *не стало быть*. Это и есть сущность. В данной работе мы не будем исследовать диалектику сущности, связь ее с наличным бытием, лишь отметим определенную близость нашего взгляда к позиции А. Ф.⁴ Лосева [Лосев, 1994]. При таком подходе сущность есть определенность бытия, *но без самого бытия*, «отражение бытия в иную область». Одно из известных определений сущности у Аристотеля дается им как *το τι ην ειναι* — «тем, что было быть». Терминологически это близко к гегелевскому пониманию сущности. *Wesen* (сущность) указывает на прошедшее время: сущность есть как бы то, что было (*gewesen*). «Такая связь сущности с прошедшим несколько не случайна. Ведь что такое прошедшее? Прошедшее — то, что лишилось возможности быть в настоящем. Оно очень даже продолжает быть, но только не в качестве бытия, и в частности наличного бытия, но именно в качестве сущности. Вещи миновали, умерли, исчезли; но — осталась их сущность. И в качестве сущности они существуют и теперь, хотя в качестве бытия их теперь уже нет» [Лосев, 1994. С. 464]. Есть некий разрыв между сущностью и воплощенной вещью, этот разрыв и дает возможность воплощения. Сущность, при таком подходе, трансцендентна бы-

тию наличному. Уже *δυναμις*, как отмечалось выше при анализе квантово-механической онтологии, является иным модусом бытия, отличным от бытия наличного, актуального, хотя мы до сих пор и не говорили о трансцендировании. Еще в большей степени это касается онтологического статуса сущности. Сущность как раз и есть то, что «существует само по себе». Набрасывая контуры квантовой онтологии, мы критиковали понятие субстанциальности, главное в котором было понятие «ненуждаемости» (см. выше), следовавшее из определения субстанции у Декарта. Критика «существования самого по себе» относилась лишь к области бытия наличного. Любая вещь, объект имеют свою сущность, но она не принадлежит «здесьнему» горизонту, хотя и «здесь» воплощается, осуществляясь, существуя «само по себе» лишь в инобытии.

Еще раз отметим, что в данной работе мы не преследуем цели развить диалектику сущности. Для нас достаточно констатировать изначальную «расщепленность», многомодусность или полионтичность бытия. Именно такая структура (подчеркнем, она не является единственно возможной, см ниже) дает одну из возможностей описать, и описать непротиворечиво, *единым образом* многие явления — от квантово-механических явлений до событий виртуальной реальности. В качестве предварительного результата всего нашего анализа можно было бы рассмотреть следующую онтологическую тетрадную структуру, обобщающую как наш первоначальный подход (при описании квантовых явлений), так и подход Хоружего (при описании виртуальной реальности):

- *ουσια* — сущность, «чтойность» вещи;
- *δυναμις* — возможность, потенциальность, потенция;
- *ενεργεια* — энергия, деятельность, действие, акт, осуществление;
- *εντελεχεια* — энтелехия, действительность, актуализованность.

Эта тетрадная модель в принципе позволяет описать не только квантовые явления, но и существенно разные виртуальные события. Она может продемонстрировать, например, в чем различие между виртуальными частицами и компьютерными виртуальными реальностями. Виртуальные частицы обладают сущностью, их *логосы* (говоря языком античности) укоренены в бытии. Здесь — отличие нашей позиции от позиции Хоружего. У него ВЧ принадлежат сфере «свободной энергии», она рассматривается деэссенциализованной, выступает как «начинающее усилие». «Подобная энергия, как и событие, порожаемое ею, непричастны никакой форме и никакому телосу; именно в них реализуется чистая деэссенциализованность, инаковость всем эссенциальным началам» [Хоружий, 1997. С. 58]. Но, спросим себя, если нет *никакой* формы, *никакой* сущности, то что же тогда выступает из потенции? Что и как описывается в квантовой электродинамике, — если *нет ничего*? Чему мы придаем какие-то харак-

теристики — заряд, массу и т. д.? Мы вынуждены признать существование какой-то формы, какой-то сущности виртуальных частиц. Их существование принадлежит, по нашей трактовке, сфере *δυναμις*, не достигая при этом завершенности, не выходя к сфере бытия наличного.

Компьютерная же виртуальная реальность является *виртуальностью* в полном смысле этого слова. Здесь **отсутствует сущность**, форма, точнее, присутствует *виртуально*, пока присутствует носитель — компьютер и человек-Nexus, связующий оба онтологических горизонта.

Из нашего анализа следует и несколько иное понимание темпоральности, чем у Хоружего. У него «длительность — определяющий предикат наличествования, устойчивого пребывания, присутствия». Но, пребывая в компьютерной виртуальной реальности, например, в своем будущем доме, расхаживая по нему и намечая перепланировку, разве мы не приписываем этим событиям длительности? Да, здесь темпоральность иная, но отсутствует ли она вовсе? О каком «миге», какой дискретности здесь может идти речь? Для виртуальных частиц такое утверждение верно, но при чем тут виртуальные компьютерные реальности?

Время существует не только при обналичивании событий, не только при факте «обретения формы», но, на наш взгляд, является определяющим предикатом *изменения, движения* в самом широком смысле. Отсюда следует сущностная связь времени с изначальной *расщепленностью* бытия, его многомодусностью, полионтичностью. Важную роль при этом играет категория *δυναμις* — бытие в возможности. Ведь как раз ее Аристотель ввел для описания движения, изменения, как промежуточную категорию, наряду с бытием и небытием, где понятие времени ввести невозможно. Бытие в классическом его понимании не может быть связано с изменением, движением и может характеризоваться только вечностью. Рядом с понятием движения каким-то образом всегда неявно присутствует понятие небытия, что отмечалось уже Платоном в «Софисте» (см. выше). С введением понятия *δυναμις* Аристотелю и удалось впервые описать реальную, добавим — изменяющуюся во времени, природу.

Аналитика времени является одной из труднейших в философии, которая до сих пор не имеет удовлетворительного решения. Не претендуя на полное решение этой проблемы, не можем не отметить вывод, следующий из нашего анализа, — о сущностной связи времени с многомодусностью бытия. К этому заключению приводит и непосредственный анализ понятия времени в квантовой механике, который мы проведем чуть позже.

После уяснения основных черт учения Аристотеля о бытии в возможности можно более подробно рассмотреть, насколько оно подходит для интерпретации квантовой механики и в какой степени оно может послужить основой для адекватной реконструкции особенностей квантово-механической реальности, на что в свое время указывал Гейзенберг.

ГЛАВА V

КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ПОЛИОНТИЧНОЙ ПАРАДИГМЫ

в

§ 1. Понятие «бытие в возможности» и интерпретация квантовой механики

К мысли об использовании в интерпретации квантовой механики понятий *dynamis*, *potentia* приходил не только Гейзенберг, но и В. А. Фок, который, однако, не употреблял собственно терминологии Стагирита. Введенные же им понятия «потенциальной возможности» и «осуществившегося» весьма близки по смыслу к понятиям «бытие в возможности» и «бытие в стадии завершения» (энтелехейя).

Фок в своих работах, в отличие от Гейзенберга, отталкивается от процесса измерения. Указывая на то, что основная черта классического способа описания явлений состояла в допущении полной независимости физических процессов от условий их наблюдения, когда можно было как бы «подсмотреть» явление, не вмешиваясь и не влияя на него, Фок показывает: для микропроцессов идеализация такого рода оказывается несправедливой. Здесь «сама возможность наблюдения предполагает наличие определенных физических условий, которые могут оказаться связанными с сущностью явления» [Фок, 1970. С. 8].

Фок, как и Гейзенберг в своих работах, говорит фактически об идее субстанциальности, о той идеализации, которая господствовала в классической физике. Только при этой идеализации, говорит Фок, «становится возможным рассмотрение физических процессов как происходящих самих по себе, вне зависимости от того, существует ли принципиальная возможность их наблюдения» [Фок, 1970. С. 9].

В квантовой области ситуация оказывается совсем другой. Микрообъект проявляет себя во взаимодействии с прибором, и для проявления

разных свойств объекта требуются, в соответствии с принципом дополнительности Бора, несовместимые внешние условия. Положив в основу нового способа описания результаты взаимодействия микрообъекта с прибором, Фок тем самым вводит понятие относительности к средствам наблюдения. «Приняв за источник наших суждений о свойствах объекта акт взаимодействия объекта с прибором и положив в основу описания явлений относительность к средствам наблюдения, мы вводим ...существенно новый элемент — понятие вероятности, а тем самым и понятие потенциальной возможности» [Фок, 1970. С. 17].

Рассматривая процесс измерения, Фок различает в нем три стадии: приготовление объекта, поведение объекта в фиксированных внешних условиях и собственно измерение. Сообразно этому он различает приготовляющую часть, рабочую часть и регистрирующую часть. Например, «при наблюдении дифракции электронов на кристалле приготовляющей частью является источник монохроматического пучка электронов, а также диафрагма..., рабочей частью сам кристалл, а регистрирующей — фотолампа или счетчик» [Фок, 1957. С. 11].

Оставляя неизменными первые стадии эксперимента и варьируя заключительную стадию, производят измерения различных величин (например, скорости частицы или ее положения в пространстве). Каждой величине при этом соответствует своя серия измерений, результаты которой выражаются в виде распределения вероятностей для этой величины. «Все указанные распределения вероятностей могут быть выражены параметрически через одну волновую функцию, которая не зависит от заключительной стадии эксперимента и тем самым является объективной характеристикой состояния объекта» [Фок, 1957. С. 12].

В отличие от Гейзенберга Фок настаивает на объективности процесса. «Описываемое волновой функцией состояние объекта является объективным в том смысле, что оно представляет объективную (независимую от наблюдения) характеристику потенциальных возможностей того или иного результата взаимодействия атомного объекта с прибором. В этом же смысле оно относится именно к данному, единичному объекту. Но это объективное состояние не является еще действительным, в том смысле, что для объекта в данном состоянии указанные потенциальные возможности еще не осуществились. Переход от потенциально возможного к осуществившемуся происходит в заключительной стадии эксперимента» [Фок, 1957. С. 12].

Вернер Гейзенберг также рассматривает состояние квантовой системы, описываемой волновой функцией, как математическое выражение, дающее «тенденции», «возможности» или, как он их еще называет, «*potentia*» и «*dynamis*», связывая их с аристотелевскими понятиями, и также рассматривает переход возможного в осуществившееся, в действительное. Однако

есть существенные расхождения между позициями Фока и Гейзенберга. По Гейзенбергу, не подвергнутый измерению объект является «полудействительным» и достигает статуса действительного только во время процесса измерения. «В экспериментах в области атомных процессов мы должны иметь дело с вещами и фактами, с явлениями, точно такими же действительными, как и явления повседневной жизни. Однако атомы или элементарные частицы не являются настолько реальными. Они образуют скорее мир тенденций или возможностей, чем вещей и фактов» [цит. по Herbert, 1987. S. 46]

Гейзенберговский мир *potentia* и менее реален, чем наш, и одновременно более реален. Он менее реален, так как еще не действителен, не осуществился, это только возможность наступления события. С другой стороны, он более реален, более богат, так как «состоит» из *существующих друг с другом возможностей*, — причем противоположных друг другу. «В мире Гейзенберга подброшенная монета может упасть одновременно орлом и решкой, что является совершенно невозможным в реальном мире», — замечает автор цитируемой нами работы [Herbert, 1987. S. 46]. Эти возможности находятся постоянно в изменении, они динамичны, взаимодействуют друг с другом. Интерферируя, они то гасят, то усиливают друг друга (что и проявляется в экспериментах по распаду K_0 -мезона). Динамика эта и описывается уравнением Шредингера.

Однако, статус «полу-действительности», «полу-объективности» мира квантового феномена заставляет Гейзенберга совершенно необоснованно говорить о его «полу-субъективности». «Понятие „возможность“, — говорит Гейзенберг, — довольно-таки удачно занимает промежуточное значение между понятием объективной материальной реальности, с одной стороны, и понятием духовной, а потому субъективной реальности с другой. Квантовотеоретическая „вероятность“ обладает хотя бы частичной объективностью, но если мы истолкуем ее как меру частоты, она будет иметь значение только по отношению к совокупности мысленно представимых событий» [Гейзенберг, 1987. С. 223].

И далее Гейзенберг еще раз настаивает на своей позиции: «...Мы как бы вводим субъективный элемент в теорию» [Heisenberg, 1959. S. 34], описывая «наши знания о фактах», и при этом «мы не можем полностью обективировать результаты наблюдений» [Heisenberg, 1959. S. 34].

Последнее утверждение выглядит по крайней мере странно, так как результаты измерений осязаемо вещественны (если так можно сказать) и совершенно реальны, объективны, о-существлены, а уравнение Шредингера, описывая динамику изменения волновой функции, описывает наше знание о ней ровно в той же мере, в какой уравнения Гамильтона дают нам знания об изменении координаты и импульса частицы или распределение Гиббса описывает наше знание о состоянии системы в статистической механике.

Более адекватной является в этом отношении интерпретация В. А. Фока, рассматривающего «потенциальные возможности» как совершенно объективные характеристики системы. Однако эта объективность особого рода.

Для новоевропейского мышления стало характерным понимание существования лишь как наличного, лишь как действительного бытия, тогда как вплоть до позднего Средневековья бытие традиционно полагалось «расколотым» на два модуса — «бытие в возможности» (*potentia, posse*) и «бытие в действительности» (*actualites*). В классической физике бытие «сплющилось» лишь до бытия наличного, теперь же квантовая механика возвращает нас к давно забытой картине множественного бытия, к полионтической картине мира.

Отметим далее, что всеми авторами единодушно отмечается два типа изменения волновой функции:

1. Динамическое, непрерывное изменение волновой функции, описываемое уравнением Шредингера (U-процедура).
2. Скачкообразное ее изменение во время измерения — редукция волновой функции (R-процедура).

Если принять во внимание развиваемую концепцию, то первый процесс описывает происходящее на уровне «потенциальных возможностей», или то, что реально, действительно еще не существует, не актуализировалось. Не случайно сама волновая функция определена не в реальном пространстве-времени, а задана на так называемом конфигурационном пространстве системы, то есть, фактически, на «пространстве» ее возможных состояний. Только во время измерения, когда вмешивается «иное» — скажем, прибор, экспериментальная установка, — происходит о-существление, актуализация возможного. Процесс измерения есть акт деятельности, *энергейя* по Аристотелю, то есть деятельности-осуществления. Как нельзя лучше здесь подходит понятие со-деятельности, или синергии¹. Оно более адекватно и емко описывает все аспекты, рассмотренные нами выше.

Это понятие включает в себя моменты деятельности, «встречу двух» — прибора и объекта, учитывает отмеченную выше деятельность «иноного», т. е. в полном смысле является со-деятельностью, синергией (отметим, что понятие деятельности использовалось при интерпретации квантовой механики и М. А. Марковым, в его знаменитой статье «О природе физического знания» [Марков, 1947]). Одновременно оно является и самим осуществле-

¹ Понятие синергия уходит своими корнями в философию неоплатоников; в русской философии оно широко использовалось П. А. Флоренским; является центральным в онтологической динамике, развиваемой в настоящее время С. С. Хоружим [Хоружий, 1994]. Отметим также, что оно нашло широкое и плодотворное применение во многих областях современной науки, напр., — в синергетике, изучающей динамические (!) открытые, т. е. учитывающие «зависимость от иного», системы.

нием (энтелехий); само же осуществление, напомним, всегда связано с возможностью (аристотелевское *энергейя* коррелятивно *динамис*).

Таким образом, можно констатировать, что Гейзенберг был совершенно прав, утверждая, что «математические законы квантовой теории вполне можно считать количественной формулировкой аристотелевского понятия „динамис“ или „потенция“» [Гейзенберг, 1987. С. 223].

Наряду с теми параллелями, что мы отмечали выше (возможность, динамичность), «потенциально возможное» включает в себя также и такой «странный» аспект «бытия в возможности», как одновременное существование различных возможностей. И как тут не вспомнить строку из аристотелевской «Метафизики»: «в возможности могут существовать противоположные вещи, а в реальном осуществлении нет». Это и означает применимость обычной формальной логики в мире действительного, и необходимость логики «квантовой» для существующего в возможности, где как раз и работает принцип суперпозиции.

Отсюда видно, что по сравнению с классической механикой в квантовой механике понятие возможности существенно изменяется. Оно онтологизируется, становится основным, что и отмечалось ранее многими исследователями, например, В. А. Фоком, К. фон Вайцеккером, Ю. В. Сачковым, М. Э. Омеляновским и др. Общую точку зрения можно выразить словами Яуха: «Вероятности, которые встречаются в классической физике, интерпретируются как обусловленные неполной детализацией исследуемых систем, вызванной наличием ограниченности нашего знания о детальной структуре и развитии этих систем. Таким образом, эти вероятности должны быть интерпретированы как имеющие субъективную природу.

В квантовой механике эта интерпретация вероятностных утверждений теряет силу в любом своем понимании, потому что не существует возможностей определить инфраструктуру, знание которой объясняло бы появление вероятностей на уровне наблюдений... Следовательно, мы принимаем здесь противоположную точку зрения, согласно которой вероятности в квантовой механике имеют фундаментальный характер, глубоко коренящийся в объективной структуре реального мира. Мы можем поэтому называть их объективными вероятностями» (цит. по [Сачков, 1979. С. 444]).

Эта «объективная вероятность», или «потенциальная возможность», (*potentia*) как раз и есть понятие, во многом противоположное понятию субстанциальности, «сущего самого по себе». Теперь, вводя понятие «бытия в возможности» как такое «начало изменения..., которое находится в ином», мы с необходимостью должны рассматривать «сущее» как бытийствующее на двух онтологических уровнях.

Заметим, что мы никуда не можем уйти от классического понятия сущности — того, что у греков и было «сущим самим по себе» — «усия», латинским переводом чего, собственно, и является понятие субстанции.

Только теперь дискурс понятия сущности становится радикально иным (см. ниже) и связан тесно с полионтичностью бытия. Сущности коррелятивно понятие явления, феномен. Интересно, что именно это понятие в интерпретации квантовой механики впервые появилось в знаменитой дискуссии Бора и Эйнштейна. Это же понятие является фундаментальным и в уилеровской трактовке, суть которой, как уже отмечалось выше, кратко можно выразить одним предложением: «никакое квантовое явление (photon) не может рассматриваться таковым, пока оно не является наблюдаемым (региструемым) явлением».

В таком виде уилеровская трактовка часто связывается с берклиевским «существовать — значить быть воспринимаемым» и в таком виде подвергается критике. Однако Уилер вовсе не отрицает факта существования феномена до измерения, он говорит лишь о том, что его природа не определена вплоть до того момента, когда его начинают наблюдать (см. напр. [Хорган, 1992. С. 73–74]). Только после измерения можно говорить о некотором феномене, что и дает возможность говорить Уилеру о «творении», об «участии» («наблюдателя» в проявлении Вселенной. Слово *наблюдатель* мы не зря поставили в кавычки, т. к. его роль в процессе осуществления квантового феномена вовсе не так велика, как это утверждается во множестве современных трактовок. Именно экспериментальная установка, прибор осуществляет ту или иную возможность, заложенную в *сущем*.

В рамках того, что излагалось выше, ясно, что если речь и идет о «сотворении» (синергия) из «чего-то», то именно из «бытия в возможности». Оно само является еще не совсем бытием (точнее, бытием актуальным). Его вполне можно охарактеризовать как «Еще-не-бытие» (Noch-nicht-Sein — именно этот термин употребляет Stallmach в своей работе «Dynamis und Energiea»).

Какой бы абстрактной ни казалась проблема не-бытия, с которой мы здесь сталкиваемся, она не случайным образом возникает при анализе квантовой теории. Как раз с этой проблемой мы сталкиваемся, рассматривая, к примеру, концепцию «творения» по Уилеру в процессе наблюдения. Здесь действительно приходится говорить о не-бытии, т. к. «к бытию может приходить только то, что в нем еще не существует», что связано, таким образом, с проблемой становления.

Интересно вспомнить, что раньше сам Аристотель отчетливо видел генетическую связь категории возможности с древней апорией бытия и небытия элеатов и Платона, как видно из его «Метафизики» (XIV, 2). Исходным пунктом здесь является апория единого и многого, которая тесно связана с апорией бытия и становления, так как через становление осуществляется многое.

Интерпретации В. Гейзенберга и В. А. Фока, как уже отмечалось выше, являются во многом формальными и недоработанными концепциями.

Гейзенберг в своей вероятностной трактовке (концепции *dynamis*) отошел от копенгагенской позиции, и хотя в своих послевоенных работах он к ней обращается очень часто, тем не менее, она остается у него «без подробных объяснений» [Печенкин, 2002. С. 182].

Концепция Фока, по сравнению с гейзенберговской, является более проработанной. Фок в центр своей трактовки ставит разделение эксперимента на ряд стадий. «Для изучения свойств атомных объектов наиболее важной является такая постановка опыта, при которой можно различать в нем три стадии: приготовление объекта, поведение объекта в фиксированных внешних условиях и собственно измерение. Сообразно этому... [выделяют] приготовляющую часть, рабочую часть и регистрирующую часть. Например, при наблюдении дифракции электрона на кристалле приготовляющей частью является источник монохроматического пучка электронов, а также диафрагма и другие устройства, поставленные перед кристаллом, рабочей частью... сам кристалл, а регистрирующей — фотонный или электронный счетчик» [Фок, 1957. С. 11–12]. Позднее Фок отмечает, что «иногда целесообразно рассматривать приготовление и создание внешних условий (т. е. две первые стадии опыта, о котором говорилось выше — А. С.) как две различные стадии опыта, но можно рассматривать их и как единый начальный опыт, цель которого — получение прогноза» [Фок, 1970. С. 18]. В соответствии с этим можно просто выделять «начальный опыт» и «поверочный опыт». «Начальный опыт должен давать распределения вероятностей также и для тех величин, измерения которых несовместны, это еще раз показывает, что речь идет о потенциальных возможностях, а не значениях величин самих по себе (в отрыве от условий их наблюдения). Совокупность потенциальных возможностей для поверочного опыта, вытекающих из данного начального опыта, можно рассматривать как характеристику состояния системы» [Фок, 1967. С. 174]. Таким образом, в основе концепции Фока лежит взаимодействие микрообъекта с прибором, т. е. вводится его известное понятие «относительности к средствам наблюдения». Каким образом возникает результат измерения? Фок подчеркивает, что «здесь нужно все время помнить, что речь идет у нас о потенциальных возможностях, создаваемых в начальном опыте и реализацией в поверочном опыте. При данном выборе типа поверочного опыта эти потенциальные возможности формулируются как распределение вероятностей для данной величины... Таким образом, опытной поверке подлежит распределение вероятностей. Ясно, что такая поверка может быть достигнута не единичным измерением, а лишь путем многократного повторения всего опыта» [Фок, 1970. С. 18–19].

Фок неоднократно в своих послевоенных работах подчеркивает объективный характер существования потенциальных возможностей. В работе «Об интерпретации квантовой механики» он утверждает: «Описывае-

мое волновой функцией состояние объекта является объективным в том смысле, что оно представляет объективную (независимую от наблюдателя) характеристику потенциальных возможностей того или иного результата взаимодействия атомного объекта с прибором. В этом же смысле оно относится именно к данному, единичному объекту. Но это объективное состояние не является еще действительным, в том смысле, что для объекта в данном состоянии указанные потенциальные возможности еще не осуществились. Переход от потенциальной возможности к осуществившемуся происходит в заключительной стадии эксперимента» [Фок, 1957. С. 13]. В другой работе также утверждается: «Распределение вероятностей (полученных при проведении эксперимента — *A. C.*) отражает объективно существующие при данных условиях потенциальные возможности» [Фок, 1970. С. 17]. Хотя Фок и не свободен полностью от рудиментов копенгагенской интерпретации (см. подробнее [Печенкин, 2002. С. 181–183]), вывод о том, что у него понятие вероятности соотнесено с наблюдателем, представляется неверным. Этот вывод делается на основе того, что «возможности для него — это возможности того или иного исхода поверочного опыта, т. е. они соотнесены с прибором, а стало быть и с наблюдателем, без которого прибор был бы просто фрагментом реальности. Фок, развивавший копенгагенскую точку зрения в предвоенных статьях, просто менял терминологию: он заменил метафору „волновая функция — запись сведений об изучаемой системе“ на метафору „волновая функция — выражение для потенциальных возможностей“. Как за той, так и за другой метафорой стоит отнесенность волновой функции к наблюдателю, который учитывает „сведения“ или реализует „возможности“» [Печенкин, 2002. С. 182]. Работы Фока, которые мы цитировали выше, просто не оставляют возможности для утверждения, что его понятие потенциальных возможностей соотносится с наблюдателем. Он настаивает на объективном существовании потенциальной возможности, причем четко указывает на ее соотнесенность с единичным квантовым объектом (см. выше).

Хотелось бы также указать на логику рассуждений, на основании которой во множестве публикаций различных авторов делаются выводы, содержащие попытку так или иначе связать поведение квантового объекта с наблюдателем. *Результаты эксперимента зависят от прибора, прибор соотнесен с наблюдателем, его... конечно же, сознание наблюдателя (это — при самых радикальных выводах) влияет на ход эксперимента.* В этом случае совершенно не понятно, чем классика отличается от квантового случая. Рассмотрим, например, такую систему:

объект «чайник» — прибор «газовая плита + термометр» — наблюдатель «Я на кухне, в качестве экспериментатора».

Я осуществляю такие два эксперимента: в первом случае ставлю чайник на маленький огонь, во втором — включаю газовую горелку на всю

мощность. В первом случае, измеряя через пять минут температуру воды, нахожу ее 80 °С, а во втором, производя измерение через это же время, получаю 100 °С. Как и выше, я могу утверждать: исход опыта (температура воды) соотнесена с прибором (газовая плита, которая может мной быть включена на разную мощность), «а стало быть, и с наблюдателем, без которого прибор был бы просто фрагментом реальности». Если руководствоваться логикой рассуждений подобного рода, то становится непонятно, зачем критиком декартовской онтологии понадобилось ждать целых триста лет. Зависимость *наблюдаемого* в эксперименте от условий его проведения просто *тривиальна* и существует как в классическом случае, так и в квантовом. Но в случае с квантовыми явлениями мы сталкиваемся с ситуацией, которой и помыслить в классике было невозможно: объект в определенном смысле слова «творится», точнее «проявляется», возникает при измерении.

Очень интересные (и красивые) эксперименты были проведены группой Д. Н. Клышко при экспериментах с лазерными фотонами, которые продолжили цепочку экспериментов по проверке неравенств Белла, Аспека, «экспериментов с отложенным выбором» и др. В них подтверждался вывод, следующий из всех этих экспериментов: квантовый объект, в данном случае фотон, просто не существует до момента измерения. Клышко так перефразирует Уилера: «Фотон является фотоном, если это зарегистрированный фотон» [Клышко, 1994]. Ясно, что при этом речь вообще не может идти о существовании, а точнее, предсуществовании динамических характеристик объекта до измерения, как это делается в трактовках со скрытыми переменными, теории волны-пилота, теории квантового потенциала или современных т. н. модальных трактовках квантовой механики. Опыты недвусмысленно говорят (см. Главу II), что не только динамические (определенные!) характеристики объекта отсутствуют, но и *сам этот объект реально, актуально не существует до измерения*.

Заметим также, что при рассмотрении квантовых процессов речь должна идти не просто о приборе. Мы говорим о нем постольку, поскольку он (прибор) присутствует в конкретном физическом эксперименте. В действительности же квантовые процессы в природе происходят с самого момента ее рождения, происходят в неисчислимом количестве сейчас, в данный момент; лабораторное проведение тех или иных квантовых опытов — это поистине ничто в океане реальных квантовых процессов. Ранее на это обстоятельство у нас указывал Б. Я. Пахомов, за рубежом — К. Поппер. Хотя интерпретация квантовой механики последнего совершенно неверна, т. к. это попытка статистического, точнее, вероятностного толкования квантовых явлений, т. е. попытка возвращения к классике, — тем не менее, он совершенно правильно оценивает роль прибора. Так, говоря о редукции волновой функции в обычной (копенгагенской) трактовке, он утверждает, что она «связана с, или зависит от: а) измерительного прибора, посредст-

вом которого мы получаем новую информацию..., и б) реализации или актуализации того, что до этого было лишь потенциальным (гейзенберговский переход от возможного к действительному...). Пункты а) и б) обычно объединяют в одно положение в), согласно которому переход от возможного к действительному происходит только под влиянием нашего возмущения физической системы, только благодаря нашему измерительному эксперименту. В противоположность этому допущению наша картина (концепция Поппера — А. С.) предполагает, что переход от возможного к действительному происходит всегда, когда возникает новое состояние. Это не зависит от того, как некто актуализирует новый временной срез путем измерения и наблюдения. (Более того, наблюдения и эксперименты настолько редки, что почти все реализации потенциального случаются независимо от них)» [Поппер, 1998. С. 138].

Если возвратиться к концепции Фока, то, учитывая все вышесказанное, необходимо признать: его понятие *потенциально возможного* вовсе не является метафорой, за ним скрываются достаточно отчетливо выраженные интенции. Другое дело, что они не были в достаточной мере реализованы. Это вряд ли могло бы быть осуществлено в то время в Советском Союзе. Тем не менее, как раз его концепция и нуждается в развитии, чему, собственно, и посвящена вся эта работа.

§ 2. Теория измерений в полионтической парадигме

Если кратко резюмировать весь материал, проанализированный в работе, то уже урок «принципа участия» Уилера, результатов опытов по проверке неравенств Белла и других экспериментов, описанных выше, однозначно указывает на то, что вещи и объекты не существуют «сами по себе», «вне» как говорит Уиллер. Они, скорее, являются обнаруживаемыми, «находимыми» в результате эксперимента. Естественно рассматривать при этом два модуса сущего — потенциальное и актуальное. Потенциальное — это то, что, собственно, описывается квантовой механикой и проявляется в соответствующих квантовых феноменах, а актуальное — это непосредственно нам данное, точнее говоря, описываемое классической физикой. Такое разделение вовсе не означает нарушение целостности и единства мира, а говорит о его иерархичности и о наличии различных структурных уровней — различных модусов бытия.

Такой подход позволяет непротиворечиво толковать многие эффекты квантовой механики, в том числе и проблему измерений.

Если мы придерживаемся двумодусной парадигмы, то, в приложении к проблеме измерения, это означает, что мы должны четко различать квантовый объект и прибор.

Именно на этом аспекте всегда настаивал Н. Бор, что хорошо известно из его дискуссий с А. Эйнштейном по философским вопросам квантовой механики. Вводя свой принцип дополнительности, он неизменно подчеркивал, что как бы далеко не выходили квантовые явления за рамки физического истолкования, описание всех фактов должно быть выражено с помощью классических понятий. «Аргументом здесь служит просто то, что слово „эксперимент“ мы относим к такому положению вещей, когда мы можем сообщить другим, что мы проделали и что мы узнали, и что поэтому описание экспериментального устройства и результатов наблюдений должно быть выражено недвусмысленным языком, с соответствующим применением терминологии классической физики» [Бор, 1968. С. 187]. «Недвусмысленность», о которой говорит Бор, означает просто то обстоятельство, что прибор не находится в состоянии суперпозиции

Далеко не каждое физическое тело может выступать в качестве прибора. «Понятие „прибор“ не тождественно с понятием „физическое тело“ (или „система физических тел“). Физическое тело само по себе не есть прибор; оно становится прибором только тогда, когда человек, присоединяя его к органам чувств, этим как бы превращает его в продолжение органов чувств для познания физических явлений» [Омельяновский, 1956. С. 153]. Такое понимание вовсе не означает «субъективизации» самого прибора, а только то, что прибор устроен таким образом, «чтобы его показания могли быть доступны нашим органам чувств... Прибор „показывает“ — это значит, что под влиянием явления в приборе „что-то меняется“, заметное для наших органов чувств. Меняется его *состояние* как состояние *макроскопической системы*. Это значит, что прибор, в конце концов, должен быть объектом классической физики» [Марков, 1947. С. 152]. Физическое тело становится прибором только тогда, когда проводится его «градуировка», метризация, т. е. после введения *меры*. А это и означает существенную классичность прибора.

Действительно, в простейшем случае для измерения координаты тела в качестве «линейки» никак не может быть использован квантовый объект, так как в этом случае для него просто отсутствует понятие локализации, его положения в пространстве. Для измерения расстояния необходима классическая «линейка», где тем или иным образом введена мера длины.

Опираясь на соображения такого рода, можно прийти к заключению, что теория измерений вряд ли играет ту роль, которая придается ей многими современными авторами. Соображения подобного рода высказывал уже Ричард Фейнман в своих знаменитых «Лекциях по физике». Не случаен тот факт, что хотя работа фон Неймана появилась еще в 1927 г., ссылки на нее при анализе взаимодействия атомного объекта и прибора отсутствуют и у Н. Бора, и у Гейзенберга, и других корифеев квантовой физики. И дело совсем не в том, что, как утверждал де Бройль, теория измерения фон Ней-

мана носила характер математически сложный и для физиков не очень наглядный. Просто прибор, как его понимал, например, Нильс Бор (и понимал совершенно правильно), принципиально описывается классической физикой. К нему не могут быть применены соответствующие уравнения квантовой механики. Он не находится в «квантовом» состоянии, к нему нельзя применить соответствующие правила квантовой суперпозиции. «Стрелка прибора» всегда занимает *определенное положение, до и после измерения*, а никак не «смесь» некоторых состояний. Иначе само измерение не может в принципе состояться. Теория фон Неймана описывает математически исчерпывающим образом взаимодействие двух квантовых систем. И только! Применение же этой теории для описания взаимодействия прибора и микрообъекта представляется некорректным. Так, в формуле (2.4) Первой главы

$$\Psi = \sum C_{kr} \psi_k(x) \nu_r(y), \text{ где } C_{kr} = C_k \delta_{kr},$$

описывающей и исследуемый объект после взаимодействия, и прибор описывается набором функций $\nu_r(y)$, т. е. не находится в определенном состоянии, что противоречит всем тем соображениям, что были высказаны выше.

Кроме того, при этом происходит ошибка в роде той, что делали физики на заре прошлого века, когда пытались правилами классической физики описывать поведение атомных частиц. Теперь эта же ошибка делается «наоборот»: к классическому объекту пытаются применять уравнения квантовой механики. Последнее же в принципе противоречит основным постулатам квантовой механики, что, к сожалению, отмечается только единицами из физиков. Это, как говорил Фейнман, «часто допускаемая ошибка» [Фейнман, 1978. С. 19] при рассмотрении многоальтернативных квантовых процессов. В них мы не имеем права складывать *амплитуды разных, различных друг от друга конечных состояний* [Фейнман, 1978. С. 19]. Если вернуться к примеру с поведением электронов в двухщелевом эксперименте, который мы разбирали в самом начале первой главы, то, как только электрон был зарегистрирован одним из индикаторов, «мы всегда, если надо, можем узнать... какая из альтернатив (взаимоисключающих событий) реализовалась. У каждой альтернативы есть своя вероятность, полностью независимая от другой... [При этом — А. С.] нельзя складывать амплитуды для различных *конечных* состояний (под „конечным“ мы понимаем тот момент, когда нас интересует вероятность, т. е. когда опыт „закончен“). Зато нужно складывать амплитуды для различных *неразличимых* альтернатив в ходе самого опыта, прежде чем целиком закончится процесс» [Фейнман, 1978. С. 19]. «Конечное» здесь у Фейнмана означает *осуществившееся*, т. е. действительное, актуальное, и к нему мы не имеем права применять соответствующие правила (*правило суперпозиции*) квантовой механики. Прибор же есть объект классический, как мы видели выше. При таком подходе мы четко разграничиваем квантовые и классические феномены.

§ 3. Проблема целостности и нелокальности

Мы подошли, таким образом, к концепции целостности, тому холистическому аспекту квантового мира, на который обращают внимание многие исследователи. Как утверждают современные авторы, сама идея холистичности также сталкивается с апориями и парадоксами. Мы уже отмечали выше, что на целостность квантового явления указывали Дэвид Бом, Д'Эспанья, последовательно эту точку пытался развивать швейцарский физик Ханс Примас (см., напр. [Primas, 1984]).

В своей трактовке он отталкивается от анализа ЭПР-систем, т. е. тех коррелирующих, нелокальных систем, которые рассматриваются в парадоксе Эйнштейна—Подольского—Розена. «Главная идея Примаса состоит в том, что мы должны отказаться от надежды, в соответствии с которой мир может описываться⁹ посредством отдельных предметов и явлений» [Lenk, 1995. S. 227]. По Примасу, мы должны, в соответствии с квантовой механикой, полностью отказаться от идеи мира как составленного из отдельных объектов (требование отказа от декартовской разделенности, расколотости (*Cartesische Spaltung*)). Больше не является верным, что всегда можно отделить друг от друга явления и системы. Мир, по этой точке зрения, является неделимым, он полностью согласован во всех своих частях со всеми другими, — наконец, является просто единственно существующим объектом. При таком подходе неизбежен парадокс, что отмечается и самим автором. С одной стороны, Универсум есть совершенно цельная и неразложимая на составные части система. В ней все части друг с другом тесно связаны и взаимодействует (и не только силовым способом). Из-за этой целостности ее нельзя анализировать; с другой стороны, для любого описания практически в каждом физическом эксперименте используется или постулируется существование некоррелирующих (отдельных друг от друга) систем.

Трудности и парадоксы для холистической интерпретации существуют, однако, и в несколько иной плоскости. В той трактовке, которую мы рассматриваем, для модуса бытия в действительности речь не идет о той целостности, которой требует холизм. В мире о-существленного мы имеем отдельные вещи, предметы, объекты, будь то стол, ручка, дерево, цветок или, наконец, тот же самый фотон из ЭПР-эксперимента с определенным направлением поляризации (т. е. уже после измерения). Здесь вышло к осуществлению (пре-быванию по М. Хайдеггеру) то, что было заложено в потенции. О целостности, нерасчлененности можно говорить лишь обращаясь к уровню бытия потенциального. Лишь через процесс становления единое (до того неразложимое) становится многим. В том же самом ЭПР-эксперименте, два ранее скоррелированных фотона, неразличимых до процесса измерения, составляют до измерения действительно единую, цело-

стную, скоррелированную систему, и только в процессе измерения осуществляется множественность. Здесь также имеется некоторая трудность, на которой мы остановимся позже. В данном же случае необходимо остановиться на той самой декартовой разделенности на субъект и объект, от которой предлагают отказаться многие авторы, что также связывают с «холистичностью».

Субъект-объектная проблема возвращает нас к проблеме объективности, т. к. классическое понятие объективности предполагает существование объекта «самого по себе», независимо от познающего его субъекта. С самых первых попыток философского осмысления результатов квантовой теории стало ясно, что мы должны если не отказаться от использования понятия существования объекта «самого по себе», то по крайней мере нуждаемся в существенной его модификации. Мы уже говорили о том, что часто делается вывод о необходимости отказа от разделенности на субъект и объект (т. к. объект не существует «сам по себе»). Однако даже в такой крайней (и как показано выше, неадекватной) попытке включения субъекта в структуру квантового явления, а именно в работе Лондона и Бауэра, с необходимостью проводится выделение самого субъекта, когда он описывается некоторой волновой функцией.

Субъект при измерении, при процессе наблюдения не теряет своей индивидуальности, сохраняет свою сущность, не сливаясь с объектом в нечто неразличимое, в единое целое.

Объект до самого акта измерения существует совершенно объективно, однако для объекта квантового это существование отнесено к модусу бытия в возможности, где он находится в некотором «суперпозированном» состоянии — том состоянии квантовой «размазанности», когда он одновременно находится во всех допустимых состояниях сразу. Во время наблюдения (точнее, во избежание недоразумений необходимо говорить *об измерении*), которое является по своей сути синэргийным актом, из набора «потенциальных возможностей» реализуется какая-то одна, происходит редукция волновой функции к одному из допустимых состояний.

Наблюдаемый квантовый феномен есть не что иное как результат синэргии, со-деятельности прибора и объекта. То, что наблюдается — есть нечто новое, «третье», — то, что в актуальном виде, для модуса бытия в действительности не существовало.

Любые рассуждения о диалектике отношений субъекта и объекта, идет ли речь о целостности или разделенности, всегда будут неадекватными, если не учитывать существующую «расколотость» бытия на бытие возможное и действительное.

При анализе субъект-объектных отношений в квантовой механике существенным является наличие прибора, что очень часто упускается из виду. При наблюдении физического явления мы имеем не просто цепочку

ОБЪЕКТ + СУБЪЕКТ,

а с необходимостью должны рассматривать наличие неустранимого прибора:

ОБЪЕКТ + ПРИБОР + СУБЪЕКТ,

причем физически акт синергии, о котором говорилось выше, отнесен в действительности к взаимодействию (со-деятельности) квантового объекта с прибором. Роль субъекта лишь в том, какой прибор он будет использовать, а это влияет, в свою очередь, на то, какая из потенциальных возможностей реализуется, *о-существится*. Более адекватно приведенную цепочку можно выразить в следующем виде:

(ОБЪЕКТ+ПРИБОР) + СУБЪЕКТ.

Роль субъекта в процессе измерения — эпистемологическая; непосредственным образом субъект, как и в классической механике, не вовлечен в процесс измерения.

Выше мы уже отмечали, что в теории процесса измерения фон Неймана субъект, обладающий сознанием как субъект познающий, рефлектирующий над действительностью, играет конститутивную роль только в эпистемологическом смысле и акт ментального восприятия не рассматривается как необходимый элемент материальной реализации — получения того или иного исхода эксперимента. Такого рода трактовка появляется у Лондона и Бауэра, в противоположность фон Нейману. Сам наблюдатель, его сознание рассматривались ими как нечто активное, непосредственно влияющие на протекание физического процесса. Это заставляло включать наблюдателя в описание квантового процесса, что с точки зрения квантовой механики само по себе сомнительно и приводило к неустранимым противоречиям (см. выше).

§ 4. Соотношения с другими трактовками

Как представляется, введение категории «бытия в возможности» позволяет адекватно истолковать практически все рассмотренные нами в первой главе стороны квантовых явлений, в отличие от других трактовок, объясняющих неполным образом только отдельные из них и не учитывающих других.

Рассмотрим в этой связи, в каком отношении данная концепция находится к упомянутым выше трактовкам. Мы не будем подробно рассматривать все аспекты соотношений, выделив лишь основные.

Наиболее существенный пункт предложенной нами концепции — в попытке ответить на вопрос (и в этом мы фактически следуем В. Гейзен-

бергу), что есть реальность *an sich*. Наша трактовка дает принципиальную возможность говорить о том, что же стоит за квантовым явлением? В этом состоит отличие от традиционного «копенгагенского» прагматического взгляда, запрещающего в принципе задавать вопросы о «структуре» квантового явления. Другие аспекты, кроме аспекта динамичности, копенгагенская трактовка также включает, выделяя особенно момент «участия», «зависимости от иного», что наиболее выпукло подчеркивается в уилеровской интерпретации, являющейся фактически развитием копенгагенской, несмотря на свою кажущуюся «экзотичность».

Интерпретация Эверетта среди всех известных трактовок занимает особое место. Она является совершенно не «фальсифицируемой» как с физической, так и с «метафизической» точек зрения. Она выдвигает на первый план понятие возможности и создания множественной действительности в акте измерения. Особенностью является «выход к действительности (осуществление) во множестве», реализация изначально целостной возможности на множестве как бы составляющих реальностей, тех миров, которые после измерения становятся параллельными, не взаимодействуя впоследствии друг с другом, что и исключает какую-либо последующую проверку. Единственным (и довольно слабым) возражением против такой трактовки мог бы быть оккамовский принцип недозволенности умножения сущностей.

Квантовологический подход наиболее узок; он выделяет и ставит на первое место то свойство потенциального бытия, где нарушается формальнологический закон «*tertium non datur*». Любое высказывание в рамках той или иной логики требует «онтологической реализации», как указывал В. Гейзенберг, что остается, в принципе, за рамками квантовологического подхода (хотя в ней изначально и указывается, что действительность значительно отличается от «обыденного», классического взгляда на нее). Более существенным возражением является следующее: **классическая логика оказывается существенно необходимым (и неустраняемым) элементом** в построении всего каркаса квантовой теории [Lenk, 1995. S. 231]. Утверждается также, что особая логика для квантовой механики скорее допустима, чем необходима. Так, П. Йордан писал, что построение особой логики квантовой теории не противоречит тому обстоятельству, что все рассуждения о ней могут быть выполнены и в классической логике [Jordan, 1953]. Еще более определенно высказывался Г. Рейхенбах: «Квантовая механика может быть построена на фундаменте двузначной логики; это доказывается существованием исчерпывающих интерпретаций. Только когда мы вводим постулат, что причинные аномалии не выводимы, мы должны обратиться к трехзначной логике» [Reichenbach, 1944. P. 366].

Рассматриваемые «неореалистические» трактовки, указывая на те или иные аспекты квантовой механики (будь то целостность (Бом), возмож-

ность или даже нелокальность), оставляют без изменения основной принцип «классичности» — идею субстанциальности, идею декартовского объекта, существующего самого по себе. Но после опытов по проверке неравенств Белла, «экспериментов с отложенным выбором» это вряд ли может квалифицироваться как удачное решение проблемы.

Пригожин в своей интерпретации как раз отказывается от «галилей-декартовского объекта», указывает на аспект целостности, подчеркивает аспект динамичности, становления, изменения, выделяя при этом особым образом момент необратимости процессов (связанный в квантовой механике с редукцией волновой функции, а в термодинамике с необратимостью процессов). Однако, при всей верности интерпретаций особенностей КМ, он не дает сколь-нибудь развернутой трактовки того, что же все-таки стоит за идеей кванта.

Трактовки, предполагающие участие сознания, мы уже рассматривали. Указывая на аспект «создания» реальности, особую роль они отводили ментальным процессам, против чего существует множество возражений и аргументов, которые и были рассмотрены выше.

Холистическая трактовка в принципе может быть согласована с развиваемой, если аспект целостности относить к уровню бытия возможности и не включать сюда сознание. Идея «голограммности» может быть истолкована как один из аспектов бытия в возможности, а именно того, что *нечто* является в то же время и «иным» (если вспомнить определение *dynamis* у Аристотеля).

Трактовка В. А. Фока, как и идея В. Гейзенберга введения в физику понятия *potentia*, наиболее близка нашей интерпретации, которая фактически является последовательным развитием этих идей, за исключением гейзенберговской попытки связать *dynamis* с субъективным элементом.

§ 5. К вопросу парадоксов квантовой теории

Трактовка, которую мы в настоящей работе развиваем, и те положения, которые мы уже рассмотрели, является во многом еще «сырой» и формальной. Например, пока не прояснен вопрос о том, каков действительный онтологический статус бытия в возможности. Что это такое? Как он соотносится с нашим обычным наблюдаемым бытием актуальным? Не является ли он лишь формальным, удобным способом описания явлений? Отметим, что, даже не отвечая на все эти вопросы (к чему мы вернемся ниже), на основе предлагаемой трактовки можно получить удовлетворительное решение квантово-механических парадоксов.

Разрешение парадокса с котом Шредингера разбирается с позиции, фактически очень близкой к нашей, Б. Я. Пахомовым (его позиция, в свою

очередь, весьма близка к фоковской трактовке): «Состояние ядра нестабильного изотопа (при рассмотрении этого парадокса — *A. C.*) характеризуется объективной неопределенностью. Потенциальные возможности его поведения можно выразить суперпозицией $C_1(\text{расп.}) + C_2(\text{не расп.})$. Состояние кошки вполне определено и не отражает неопределенность состояния ядра, тем более что неопределенность непосредственно не наблюдается. В момент распада... срабатывает то устройство, которое и само может быть регистрирующим прибором, которое, по фантазии Э. Шредингера, убивает кошку. А роль наблюдателя, который в какой-то момент обнаружит кошку живой, а в другой момент — уже мертвой, становится тривиальной» [Пахомов, 1995. С. 194]. При таком рассмотрении парадокс фактически не возникает. Парадокс возникает лишь тогда, когда неоправданно микрофизическая ситуация переносится на макроскопическую. Сам Шредингер рассматривал его лишь как «веселый» мысленный эксперимент, который гротескно демонстрирует некоторые черты микроявлений. В действительности же для перенесения квантово-механических условий на эту конкретную макроскопическую ситуацию нет никаких оснований. Только атомное ядро находится в «суперпонируемом» состоянии и описывается принципом суперпозиции. Кошка же всегда находится в состоянии действительном и однозначном. На включение ее в описание имеется ровно столько оснований, сколько их имеется для того, чтобы вводить «состояния сознания» в трактовке Лондона и Бауэра, которые никаким образом не подчиняются уравнению Шредингера. В связи с этим парадоксом уместно привести реакцию на него Стивена Хоукинга: «Когда ко мне приходят с „кошкой Шредингера“, то меня тянет схватиться за кобуру» [Lenk, 1995. S. 224].

С попыткой непосредственного включения наблюдателя (и более того, его сознания) в квантово-механическую реальность связан и упомянутый выше парадокс «друга Вигнера». Если ситуация рассматривается как объективная актуализация сущего в бытии в возможности, его актуализация, т. е. происходит «осуществление» в смысле Фока, парадокс просто никак не возникает.

Сложнее обстоит дело с ЭПР-парадоксом, который мы рассмотрим несколько ниже, при уточнении предлагаемой концепции. Заметим пока, что фактически разрешение этого парадокса связано со старым классическим рассмотрением его Н. Бором. Квантовый объект до измерения является целостным объектом. Он существует (до наблюдения) в «когерентной суперпозиции состояний». При измерении происходит разрушение изначально когерентного, «суперпонирующего» состояния и наблюдается одно из возможных состояний.

Другое, также формальное решение этого парадокса дает концепция «топосов» И. А. Акчурина. Осуществление, реализация той или иной возможности связано в этой трактовке с изменением топологии системы, что

и воспринимается как мгновенная передача информации, потеря причинности и нарушение нелокальности. Несмотря на формальное разрешение парадокса (заметим, кстати, с последовательно квантово-механической точки зрения парадокса нет, а он существует лишь для «классического» разума), некоторые трудности здесь возникают, и связаны они с «непредставимостью» многих явлений квантового мира.

С одной стороны, это связано с принципиальной ненаблюдаемостью бытия в возможности, где любая попытка «подсмотреть», как он «устроен», делает его актуализированным. Все усилия в данном направлении оказываются подобными попытке подсмотреть, как устроена темнота, все быстрее включая свет.

Более важным моментом является непредставимость квантовых явлений. Мы никак не можем представить себе такое сложное топологическое пространство, в котором, если мы рассматриваем одну частицу, она оказывается «размазанной», существует одновременно во всем пространстве (с разной амплитудой вероятности), а в случае двух скоррелированных частиц, как в случае ЭПР-парадокса, эти частицы еще к тому же образуют единое целое.

Однако простое отнесение целостности к уровню бытия в возможности, а множественности к уровню бытия актуального многих вопросов не решает. До какой степени существует эта целостность? Образует ли весь Универсум единое целое на уровне возможного? Или целостность все-таки достаточно условна, и возможно провести на этом уровне различение и отделение?

В пользу последнего говорит тот факт, что сама возможность описания уже предполагает выделение, разложение различных элементов. Однако если принять во внимание область физики элементарных частиц, то здесь, с учетом фактов возникновения и уничтожения частиц, их взаимного превращения друг в друга, проблема становится значительно более сложной.

По всей видимости, ответ на эти вопросы может быть дан только после создания более общей теории, один из вариантов которой рассмотрен ниже (см. Гл. VI).

Что касается философской точки зрения, то одним из возможных путей для интерпретации квантовой механики, как мы уже пытались показать, может служить онтология Аристотеля. Предпринятая нами критика идеи субстанциальности, которая до сих пор была центральной в данной работе, не означает критики самого понятия субстанции. Последовательный философский анализ квантовых явлений заставляет рассматривать понятие сущности, переводом чего собственно и является латинское *substantia*.

С введением понятия сущности можно адекватно истолковать понятие целостности квантовой системы, состоящей из одинаковых частиц (тождественных по сущности), что позволит избежать «глобального холизма»,

ведущего к неоправданному релятивизму, и избежать «буддийского» рассмотрения реальности, сводящего все к чистому потоку, процессуальности, где основным является понятие события, где вещи в некотором смысле оказываются *пусты*. Понятие сущности и тесно связанная с ним аристотелевская триада (*δυναμις, ενεργεια, εντελεχεια*) может являться, как уже в принципе было показано, основой интерпретации квантовой теории. Действительно, в процессе осуществления, актуализации потенциального мы получаем реальные, действительные вещи, объекты, подчиняющиеся классической физике. Например, в этом состоит одна из причин того, что язык классической физики неустраим (казалось бы, парадоксальным образом) из квантовой механики. «Квантовая механика занимает очень своеобразное положение в ряду физических теорий — она содержит классическую механику как свой предельный случай и в тоже время нуждается в этом предельном случае для своего обоснования», — писали по этому случаю [Ландау, Лившиц, 1973. С. 16].

§ 6. Квант и время

Проблема времени напрямую связана с той онтологической моделью, которая развивается в работе. Раз есть модус бытия в возможности и модус бытия осуществившегося, то проблема становления, напрямую связанная со временем, приобретает особый статус.

У истоков создания КМ стояли М. Планк и А. Эйнштейн. В центре внимания была проблема излучения и поглощения света, т. е. проблема *становления* в широком философском смысле, а следовательно, и движения. Эта проблема как таковая до сих пор не ставилась в центр внимания при анализе философских оснований квантовой механики. Однако рискованно утверждать, что именно проблема становления — древнейшая философская проблема — и является одной из главных, основных проблем квантовой механики, на что мы и обращали внимание на протяжении всего данного исследования.

Эта проблема всегда была тесно связана с теорией квантов, от упомянутой уже проблемы излучения и поглощения света в работах Планка и Эйнштейна до последних экспериментов и интерпретаций квантовой механики, но всегда неявно, имплицитно, как некий скрытый подтекст. Фактически же с проблемой становления тесно связаны все дискуссионные вопросы квантовой механики.

Так, в настоящее время активно обсуждается т. н. «проблема измерения», которая в интерпретациях квантовой механики играет ключевую роль (см. выше). Измерение резко меняет состояние квантовой системы, форму волновой функции $\Psi(\mathbf{r}, t)$. Например, если при измерении положения час-

тицы мы получаем более или менее точное значение ее координаты, то волновой пакет, который представляла собой функция Ψ до измерения, «редуцируется» в менее протяженный волновой пакет, который может быть даже точечным, если измерение проведено очень точно. С этим и связано введение Гейзенбергом понятия «редукция пакета вероятностей», характеризующей такого рода резкое изменение волновой функции $\Psi(r, t)$.

Редукция всегда приводит к новому состоянию, которое нельзя предвидеть заранее, поскольку до измерения мы можем предсказать лишь вероятности различных возможных вариантов.

Совсем иная ситуация в классике. Здесь, если измерение выполняется достаточно аккуратно, то это является констатацией лишь «наличного состояния». Мы получаем истинное значение величины, которое объективно существует в момент измерения.

Различие классической механики и квантовой — это различие их объектов. В классике — это налично существующее состояние, в квантовом случае — это объект возникающий, становящийся, объект, принципиально изменяющий свое состояние. Более того, употребление понятия «объект» не совсем правомерно, мы имеем скорее актуализацию потенциального бытия, причем сам этот акт принципиально не описывается аппаратом квантовой механики. Редукция волновой функции всегда есть разрыв, скачок в состоянии.

Гейзенберг, как помним, одним из первых начал утверждать, что квантовая механика возвращает нас к аристотелевскому понятию бытия в возможности. Такая точка зрения диктует необходимость рассмотрения, по крайней мере, двухмодусной онтологической картины, где есть модус бытия в возможности и модус бытия действительного, мир осуществившегося. Статистическое распределение вероятностей, возникающее при измерении, и отражает объективно существующие при данных условиях потенциальные возможности. Актуализация, «осуществление» по Фоку — не что иное как «становление», «изменение», или «движение» в широком философском смысле. Актуализация потенциального вносит необратимость, что тесно связано с существованием «стрелы времени».

Интересно, что Аристотель тесно связывает время с движением (см., напр., его «Физику»: «время не существует без изменения» 222b 30ff, кн. IV особенно, а также трактаты «О небе», «О возникновении и уничтожении»). Не рассматривая пока подробно аристотелевское понимание времени, отметим, что у него это прежде всего мера движения, а говоря шире — мера становления бытия.

В таком понимании время приобретает особый, выделенный статус, и если квантовая механика действительно указывает на существование бытия потенциального и его актуализацию, то в ней этот особый характер времени должен быть явным.

Как раз именно этот особый статус времени в квантовой механике хорошо известен и неоднократно отмечался разными авторами. Например, де Бройль в книге «Соотношения неопределенностей Гейзенберга и волновая интерпретация квантовой механики» пишет, что квантовая механика «не устанавливает истинной симметрии между пространственными и временной переменной. Координаты x , y , z частицы считаются наблюдаемыми соответствующими неким операторам и имеющими в любом состоянии (описываемом волновой функцией Ψ) некоторое вероятностное распределение значений, тогда как время t по-прежнему считается вполне детерминированной величиной.

Это можно уточнить следующим образом. Представим себе галилеева наблюдателя, проводящего измерения. Он пользуется координатами x , y , z , t , наблюдая события в своей макроскопической системе отсчета. Переменные x , y , z , t — это числовые параметры, и именно эти числа входят в волновое уравнение и волновую функцию. Но каждой частице атомной физики соответствуют „наблюдаемые величины“, которые являются координатами частицы. Связь между наблюдаемыми величинами x , y , z и пространственными координатами x , y , z галилеева наблюдателя носит статистический характер; каждой из наблюдаемых величин x , y , z в общем случае может соответствовать целый набор значений с некоторым распределением вероятностей. Что же касается времени, то в современной волновой механике нет наблюдаемой величины t , связанной с частицей. Есть лишь переменная t , одна из пространственно-временных переменных наблюдателя, определяемая по часам (существенно макроскопическим), которые имеются у этого наблюдателя» [де Бройль, 1986. С. 141–142].

То же самое утверждает и Эрвин Шредингер. «В КМ время выделено по сравнению с координатами. В отличие от всех остальных физических величин ему соответствует не оператор, не статистика, а лишь значение, точно считываемое, как в доброй старой классической механике, по привычным надежным часам. Выделенный характер времени делает квантовую механику в ее современной интерпретации от начала и до конца нерелятивистской теорией. Эта особенность КМ не устраняется при установлении чисто внешнего „равноправия“ времени и координат, т. е. формальной инвариантности относительно преобразований Лоренца, с помощью надлежащих изменений математического аппарата.

Все утверждения КМ имеют следующий вид: если теперь, в момент времени t , провести некое измерение, то с вероятностью p его результат окажется равным a . Все статистики квантовая механика описывает как функции одного точного временного параметра... В КМ бессмысленно спрашивать, с какой вероятностью измерение будет произведено в интервал времени $(t, t + dt)$, т. к. время измерения я всегда могу выбрать по своему произволу» [Шредингер, 1982–1983. С. 265].

Существуют и другие аргументы, показывающие выделенный характер времени, они известны, и я не буду здесь на этом останавливаться. Существуют и попытки преодоления такой выделенности времени — вплоть до «экзотической», когда Дирак, Фок и Подольский предложили для обеспечения ковариантности уравнений т. н. «многовременную» теорию, согласную которой каждой частице приписывается не только своя координата, но и свое время.

В упоминаемой выше книге де Бройль показывает, что и такая теория не может избежать особого статуса времени, и весьма характерно, что книгу он заканчивает следующей фразой: «После таких попыток, таким образом, мне представляется невозможным устранить особую роль, которую в квантовой теории играет времениподобная переменная» [де Бройль, 1986. С. 324]. На основе подобных рассуждений можно с уверенностью утверждать, что квантовая механика заставляет нас говорить о выделенности времени, о его особом статусе.

Существует и еще один аспект квантовой механики, никем до сих пор не рассматривавшийся. На мой взгляд, правомерно говорить о двух «временах». Одно из них — это наше обычное время, конечное, однонаправленное; оно тесно связано с актуализацией и принадлежит миру осуществившегося. Другое — это существующее для модуса бытия в возможности. Его трудно охарактеризовать в наших обычных понятиях, так как на этом уровне нет понятий «позже» или «раньше». Принцип суперпозиций как раз показывает, что в потенции все возможности существуют одновременно. Для этого модуса бытия невозможно введение пространственных понятий «здесь», «там», так как они появляются только после «развертывания» мира, в процессе которого время играет ключевую роль.

Эксперименты, проведенные в 90-х гг., подтверждают такие «странные» выводы из квантовой теории. Квантовый объект действительно «не существует» до момента измерения, когда он получает актуальное бытие.

Один из аспектов таких экспериментов до сих пор практически не обсуждался исследователями, а именно — временной аспект. Ведь квантовые объекты получают свое существование не только в смысле своей пространственной локализации, но и начинают «*быть*» во времени. Допустив существование бытия потенциального, необходимо сделать вывод и о качественно ином характере существования на этом уровне бытия, в том числе и временного.

Как следует из принципа суперпозиции, различные квантовые состояния существуют «одновременно», т. е. квантовый объект изначально, до актуализации своего состояния, существует сразу во всех допустимых состояниях. При редукции волновой функции от «суперпонируемого» состояния остается лишь одно из них. Наше обычное время тесно связано с такого рода «событиями», с процессом актуализации потенциального. Суть

«стрелы времени» при таком понимании и состоит в том, что объекты приходят к бытию, «во-осуществляются», и именно с этим процессом и связана однонаправленность времени и его необратимость. Квантовая механика, уравнение Шредингера описывает грань между уровнем бытия возможного и бытия действительного, точнее, дает динамику, вероятность *осуществления* потенциального. Само же потенциальное нам не дано, квантовая механика лишь указывает на него. Наше знание пока принципиально неполно. Мы имеем аппарат, описывающий классический мир, то есть мир актуальный, явленный, — это аппарат классической физики, включая теорию относительности. И у нас есть математический формализм квантовой механики, описывающий становление. Сам же формализм «угадан» (здесь стоит напомнить, как было открыто уравнение Шредингера), он ниоткуда не выводится, что дает повод поставить вопрос о более полной теории. По нашему мнению, квантовая механика лишь подводит нас к грани бытия явленного, дает возможность приоткрыть тайну бытия и времени, не раскрывая и не имея возможности раскрыть ее полностью. Мы можем лишь сделать вывод о более сложной структуре времени, о его особом статусе.

Обоснованию такой точки зрения поможет и обращение к философской традиции. Как известно, еще Платон дает различие двух времен — собственно времени и вечности. Время и вечность у него несоизмеримы [Платон. Тимей, 38а], время есть только движущееся подобие вечности. При сотворении демиургом Вселенной, как рассказывается об этом в «Тимее», демиург «замыслил сотворить некое движущееся подобие вечности; устроая небо, он вместе с ним творит для вечности, пребывающей в едином, вечный же образ, движущийся от числа к числу, который мы назвали временем» [Платон. Тимей, 37 с.].

Платоновская концепция — это первая попытка преодоления, синтеза двух подходов ко времени и миру. Одна из них — это парменидовская линия, дух школы элеатов, где отрицалось всякое движение, изменение, где истинным сущим признавалось лишь вечное бытие, другая связана с философией Гераклита, утверждавшего, что мир есть непрерывный процесс, своего рода горение или безостановочное течение.

Другой попыткой преодоления такой двойственности явилась философия Аристотеля. Введя понятие бытия потенциального, он впервые описал движение, учение о котором излагает в тесной связи с учением о природе. Время же для Аристотеля, как известно, тесно связано с движением. «Невозможно, чтобы время существовало без движения» [О возникновении и уничтожении, 337 а 23f]. По Аристотелю, это очевидно, так как «если имеется время, очевидно, должно и существовать и движение, раз время есть некоторое свойство движения» [Физика, 251 b 27ff]. Это означает, что не существует движения самого по себе, а только изменяющееся, становящееся бытие, и «время есть мера движения и нахождения [тела] в со-

стоянии движения» [Физика, 221a]. Отсюда становится ясно, что время становится и мерой бытия, ведь «и для всего прочего нахождение во времени означает измерение его бытия временем» [Физика, 221a 9f].

Имеется существенное отличие между подходами Платона и Аристотеля в понимании времени. У Платона время и вечность несоизмеримы, они качественно различны. Время у него только движущееся подобие вечности [Тимей, 38a], ибо все возникшее не причастно вечности, имея начало, а, следовательно, и конец, т. е. оно *было* и *будет*, тогда как вечность только есть.

Аристотель отрицает вечное существование вещей, и хотя он и вводит понятие вечности, это понятие является для него скорее бесконечной длительностью, вечного существования мира. Его логический анализ, сколь бы гениальным он ни являлся, не способен схватить существование качественно *иного*. Платоновский подход, хотя и не описывает движение в чувственном мире, оказывается в отношении времени более дальновидным. В дальнейшем концепции времени разрабатывались в рамках неоплатоновской школы и христианской метафизики. Не имея возможности входить в анализ этих учений, отметим только то общее, что их объединяет. Все они говорят о существовании двух времен — обычного времени, связанного с нашим миром, и вечности, зона ($\alpha\lambda\omega\nu$), связанного с бытием сверхчувственным¹.

Возвращаясь к анализу квантовой механики, заметим, что волновая функция определяется на конфигурационном пространстве системы, а сама функция Ψ является вектором бесконечномерного гильбертова пространства. Если волновая функция является не просто абстрактным математическим конструктом, а имеет некоторый референт в бытии, то необходимо сделать вывод о ее «инобытийности», *непринадлежности* к актуальному четырехмерному пространству-времени. Этот же тезис демонстрирует и хорошо известная «ненаблюдаемость» волновой функции, и ее вполне осязаемая реальность, например, в эффекте Ааронова—Бома.

Одновременно с аристотелевским заключением, что время есть мера бытия, можно сделать вывод, что квантовая механика позволяет, по крайней мере, поставить вопрос о множественности времени. Здесь современная наука, по образному выражению В. П. Визгина, «вступает в плодотворную „идейную переключку“ с античным наследием» [Визгин, 1999. С. 149]. Действительно, уже «теория относительности Эйнштейна ближе к представлениям древних о пространстве и времени как свойствах бытия, неотделимых от порядка вещей и порядка их движений, чем к ньютоновским представлениям об абсолютных пространстве и времени, мыслимых как

¹ К характеристике неоплатонической концепции см. к примеру: Лосев А. Ф. Бытие. Имя. Космос. М., 1993. С. 414–436; о понимании времени в христианском богословии: Лосский В. Н. Очерк мистического богословия Восточной Церкви. М., 1991, гл. V.

совершенно индифферентные к вещам и их движениям, как не зависимые от них» [Визгин, 1999. С. 149].

Время тесно связано с «событием». «В мире, где есть одна „действительность“, где „возможности“ не существует, не существует и времени, время есть трудно предсказуемое создание и исчезновение, переоформленные „пакета возможностей“ того или иного существования» [Визгин, 1999. С. 157]. Но сам «пакет возможностей» бытийствует, как мы хотели показать, в условиях иной темпоральности. Данное утверждение является некой «метафизической гипотезой», однако если принять во внимание, что квантовая механика становится в последнее время «экспериментальной метафизикой», то можно поставить вопрос об опытном обнаружении таких «надвременных» структур, связанных с волновой функцией системы. На наличие таких иновременных структур уже косвенно указывают эксперименты «с отложенным выбором» и мысленный эксперимент Уилера с «галактической линзой» [Horgan, 1996. S. 130–139], где демонстрируется возможная «отсрочка» эксперимента во времени.

Рассматривая полионтичную картину реальности, можно сделать вывод о ключевой роли времени. Сам мир «развертывается» во времени. Здесь можно говорить о вторичности пространственных отношений, собственно координатного представления. Такой вывод (пока гипотетический) хорошо согласуется с интуициями А. Эйнштейна и Луи де Бройля, касавшихся пересмотра всех пространственно-временных представлений в связи с появлением аппарата КМ.

Так, Эйнштейн в известной работе «Физика и реальность» (1936 г.) писал: «Необходимо отметить, конечно, что введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире. Утверждают, что успех метода Гейзенберга может быть приведен к чисто алгебраическому методу описания природы, т. е. исключению из физики непрерывных функций. Но тогда нужно будет в принципе отказаться от пространственно-временного континуума. Можно думать, что человеческая изобретательность в конце концов найдет методы, которые позволят следовать этому пути» [Эйнштейн, 1965, С. 56–57].

Вторил ему и де Бройль: «Действительно, понятие пространства и времени взяты из нашего повседневного опыта и справедливы лишь для явлений большого масштаба. Нужно было бы заменить их другими понятиями, играющими фундаментальную роль в микропроцессах, которые асимптотически переходили при переходе от элементарных процессов к наблюдаемым явлениям обычного масштаба в привычные понятия пространства и времени. Стоит ли говорить, что это трудная задача? Было бы удивительно, если бы стало возможным когда-нибудь исключить из физической теории понятия, представляющие самую основу нашей повседнев-

ной жизни. Правда, история науки показывает плодотворность человеческой мысли и не стоит терять надежды. Однако пока мы не добились успеха в распространении наших представлений в указанном направлении, мы должны с большими или меньшими трудностями втиснуть микроскопические явления в рамки понятий пространства и времени, хотя нас все время будет беспокоить чувство, что мы пытаемся втиснуть алмаз в оправу, которая ему не подходит» [де Бройль, 1963. С. 187].

С такой точки зрения более полное описание реальности должно включать в себя такую картину бытия, где явным образом было бы продемонстрировано «возникновение», «развертывание» пространства-времени из более общих структур. Очевидно, это должна быть физика совершенно иного характера, т. к. при таком подходе изначально нельзя говорить о различении пространственных и временных точек, и, по-видимому, это должна быть физика качественных структур.

§ 7. Теория относительности и квантовая механика

Выводы предыдущего параграфа о выделенном характере времени и, соответственно, «от начала и до конца» (Э. Шредингер) её нерелятивистском характере позволяют качественно по-новому взглянуть на соотношение квантовой механики и теории относительности. К постановке вопроса о соотношения этих двух теорий приводит уже анализ ЭПР-парадокса, что и делалось другими авторами, начиная с А. Эйнштейна.

Как помним (см. Гл. II), в экспериментах подобного рода наблюдается существенная нелокальность квантовых феноменов. Измерение, проведенное в точке А для одного из пары коррелированных фотонов, мгновенно сказывается на состоянии другого фотона пары, находящегося в точке В.

Разбирая ЭПР-парадокс, мы указывали, что существуют три возможности для интерпретации результатов эксперимента подобного рода (см. Гл. II, §5). Одна из них связана с вероятной нелокальностью пространства-времени и возможностью передачи, соответственно, сверхсветовых сигналов. В такой ситуации, «если мы мысленно представим себе некоторое нелокальное „влияние“, распространяющееся от одного детектора к фотону, находящемуся на противоположной стороне, и сигнализирующее о направлении, в котором экспериментатор намеревается измерить направление поляризации приближающегося фотона, то приходим к заключению, что это „влияние“ должно распространяться быстрее света! Ясно, что любое реалистическое описание квантового мира, согласующееся с этими фактами, должно быть *не-причинным* в том смысле, что влияние должно обладать способностью распространяться быстрее света!» [Пенроуз, 2008. С. 232].

Однако тот же Пенроуз отмечает, что существование сигналов, распространяющихся быстрее света, приводит к ряду абсурдных ситуаций [Пенроуз, 2008. С. 176, 233]. Как известно, наблюдаемая нелокальность в экспериментах типа ЭПР-парадокса не приводит к нарушению принципов специальной теории относительности. Показано, что такого рода «влияния» никак не могут быть использованы для испускания и передачи сверхсветовых сообщений [Ghirardi, Rimini, Weber, 1980]. Можно выделить два рода «информации» в таких квантовых явлениях. Первая говорит о «суперпозированных» состояниях коррелированных частиц, вторая связана с той ситуацией, что реализуется в процессе измерения. В ситуации первого рода частицы «отслеживают» состояние друг друга «мгновенно», на каком бы расстоянии друг от друга они не находились; во второй информация о результате конкретного измерения сообщается через обычный классический канал и не может распространяться со скоростью большей, чем скорость света.

Тем не менее, «хотя эксперименты типа ЭПР-парадокса не противоречат (в обычном смысле передачи сообщений сигналами) *причинности* специальной теории относительности, существует определенный конфликт с духом теории относительности в нашей картине физической реальности» [Пенроуз, 2008. С. 233]. Аргумент Пенроуза оказывается того же рода, что приводился Уиллером двадцатью годами раньше [Уилер, 1982].

Когда две частицы разлетаются в ЭПР-парадоксе, вектор состояния описывает эту пару как целое. Поэтому выше, говоря об «отслеживании» частиц состояний друг другом, мы не зря поставили эти слова в кавычки. Ни одна из частиц не обладает «объективным» состоянием: чистое состояние описывает только две частицы вместе как целое. При конкретном же измерении, например, поляризации фотонов, происходит редукция волновой функции. Вектор состояния изменяется скачком (*R*-процедура, см. выше, §1 этой главы), когда одна из частиц получает конкретную характеристику, например, определенную поляризацию. Правильные значения этой поляризации даются обычными правилами квантовой теории. Такой подход по существу нерелятивистичен. Два измерения, проведенные в двух точках, могут быть разделены пространственноподобным интервалом. «Это означает, что каждое измерение лежит вне светового конуса другого... Вопрос о том, какое из этих измерений произведено первым, не имеет реального физического смысла, а зависит от состояния движения „наблюдателя“. Если „наблюдатель“ достаточно движется вправо, то измерение, производимое справа, он считает происходящим первым; а если наблюдатель движется „влево“, то первым он считает измерение, производимое слева. Но если мы сочтем, что первым был измерен правый фотон, то получим совершенно другую картину физической реальности, чем та, которая получается, если мы сочтем, что первым был измерен левый фотон!

(Это — другое измерение, вызывающее нелокальный „скачок“). Между нашей пространственно-временной картиной физической реальности (даже правильной нелокальной квантово-механической картиной) и специальной теорией относительности имеется существенное противоречие!» [Пенроуз, 2008. С. 233].

Такое противоречие, как далее отмечает Пенроуз, до сих пор никому не удалось преодолеть. Попытки выхода из данной ситуации связаны с поисками более общей теории, которая непротиворечивым образом синтезировала бы обе вышеупомянутые. Такая теория, повторим, до сих пор не создана.

Одна из причин нам видится в том, что существующие попытки объединения (в особенности это касается наиболее ранних теорий) кладут в основу принципиально одномодусный подход. Молчаливо предполагается, что квантовая механика и теория относительности описывают реальность одного и того же рода. Специфика теории относительности проявляется лишь при скоростях тел, близких к скорости света, а КМ связана просто с поведением микрообъектов. Предполагается, что их можно «сшить» наподобие такого подхода, как в рамках общей теории относительности «сшиваются» теория гравитации и СТО, когда исследователи ищут наиболее общие принципы, связывающие *разные проявления одного и того же модуса* сущего.

Вся же логика нашего исследования говорит о том, что квантовые явления описывают совершенно иной модус бытия, нежели чем область обычных классических явлений. Мир классики возникает тогда, когда осуществляется редукция волновой функции — R-процедура. Свойство же модуса бытия потенциального, существенные особенности квантовых объектов связаны с U-процедурой, с динамическим и причинным изменением волновой функции, подчиняющейся уравнению Шредингера. Возникает существенный разрыв свойств при R-процедуре. Исчезает характерная суперпозиция состояний и возникает мир классики, где невозможна суперпозиция состояний обычных объектов, к примеру, крикетных шаров (Р. Пенроуз).

Выделим при этом несколько обстоятельств.

- Во-первых, «квантовая теория умалчивает о том, *когда и почему* в действительности (или в воображении?) должна иметь место R-процедура. Кроме того, сама по себе R-процедура не дает надлежащего объяснения, почему мир на классическом уровне выглядит „классически“» [Пенроуз, 2008. С. 242].
- Во-вторых, *все «наблюдательные» эффекты квантовой теории не нарушают требований специальной теории относительности* [Там же].
- И, в-третьих, на уровне бытия актуального, квантовая механика становится «просто *неверной*, когда ее применяют к макроскопическим телам» [Там же].

Из всего сказанного следует, что квантовая механика и теория относительности, верные при описании каждой своей области явлений, «дают сбой» при R-процедуре. Ее не описывает квантовая механика, и здесь же возникают сложности при согласовании этих эффектов с теорией относительности.

Выход из данной ситуации может состоять в построении теории нового типа, которая бы автоматически учитывала существование разных модусов бытия. Ранее уже предпринимались попытки «сшивки» таких теорий (КМ и ТО). Одной из первых была попытка М. Борна согласовать принципы КМ и ОТО на основе принципа взаимности (см. Первую главу). Ее неудача и бесплодность связана, по нашему мнению, с тем, что эти теории «сшиваются горизонтально», без учета того, что они описывают разные структурные уровни материи. Необходимо же переходить от «горизонтальной сшивки» к «вертикальной», к поиску наиболее общих структур в теориях, и того, что за ними стоит. Этому в физике соответствует переход от «уровня уравнений» к «уровню симметрий».

Не устарели и представляются весьма важными те методологические соображения, которые были высказаны академиком И. Е. Таммом более тридцати лет назад: «Тот факт, что в квантовой физике учитываются релятивистские эффекты, а в некоторых космологических приложениях теории относительности используется постоянная Планка, еще не свидетельствует о синтезе этих теорий, — перед нами их взаимопроникновение, которое может быть то весьма глубоким, то поверхностным и эпизодичным, но не выявление общих основ и принципов, объединяющих эти фундаментальные разделы физики. Установление синтеза „по горизонтали“ — через непосредственные „взаимодействия“ и „взаимопроникновения“ теорий — есть занятие почетное, но трудоемкое и малокомпактное; при нынешней разветвленности знания оно, в лучшем случае, будет похоже на поверхностное наложение швов, которые все равно неуклонно расползаются...

Другой путь синтеза — это вертикальный анализ теорий с целью нахождения некоторых фундаментальных инвариантов между ними, которые определяют гармонию мира и из которых дедуктивно могут выводиться принципы меньшей общности, лежащие в основании конкретных дисциплин» [Тамм, 1992. С. 1–2].

Такие новые фундаментальные принципы еще не найдены. Существует и подход Пенроуза, на который мы чаще всего ссылались в этом параграфе и который состоит в построении квантовой теории гравитации. Такой подход не учитывает многомодусность бытия и вряд также ли может быть плодотворным. Более интересным представляется *твисторный* подход Пенроуза, в рамках которого осуществляется синтез идей квантовой механики и теории относительности, причем само пространство-время в рамках этой теории не является первичным.

Уже в общей теории относительности свойства пространства-времени определяются и зависят от распределения масс вещества, т. е. в конечном счете от частиц материи. В большинстве существующих физических моделей пространственно-временной континуум служил базой или ареной для построения физических взаимодействий. В настоящее время существуют и развиваются парадигмы, где пространство-время исключено из первичных физических категорий. В них ставится задача получения пространства-времени как вторичного понятия, свойства которого вытекают из свойств частиц и переносчиков взаимодействий. Одной из первых такого рода программ можно назвать как раз теорию твисторов Р. Пенроуза, которая представляет собой серьезную научную программу выведения пространства-времени из некоторых более первичных понятий (твисторов), непосредственно характеризующих свойства элементарных частиц. В качестве побудительного мотива для построения такой модели была убежденность Пенроуза в том, что квантовая теория и теория относительности связаны между собой и должны описываться математическими величинами одной природы — комплексными величинами (комплексными спинорами — твисторами). Твистор простейшего типа представляет собой по сути безмассовую частицу в свободном состоянии. При этом она может обладать внутренним спином, а также «фазой», которую можно рассматривать как аналог плоскости поляризации. Такие структуры (твисторы) обладают естественной структурой 4-мерного комплексного пространства. Это пространство заменяет обычное пространство-время в качестве основы для описания физических явлений. Уже в самых ранних работах Пенроуз показал, как можно ввести понятие евклидова пространства, исходя из предела вероятности взаимодействия большого количества частиц, квазистатически обменивающихся спинами. При таком подходе евклидова структура возникает из комбинаторных правил, которым удовлетворяет полный угловой момент в нерелятивистской квантовой механике. Строится Пенроузом и релятивистское обобщение этой модели. Главное при таком подходе — то, что задается твистор — спинор, из которого можно получить 4-мерный импульс частицы. Из двух твисторов строится вектор момента импульса. Импульсы и моменты в такой теории являются более первичными понятиями.

Несмотря на всю привлекательность такой программы и ее интересные результаты, в целом она выглядит достаточно искусственной и оставляет ряд вопросов. К примеру, почему в качестве первичного понятия выбираются объекты такого рода, как твисторы. На такой вопрос можно было бы ответить: развивая такую теорию, мы в конце концов получим следствия, соответствующие известным наблюдательным данным или известной физической теории. Несмотря на это, остается чувство «искусственности» введения такого рода объектов. Волевое задание твисторов вызывает мно-

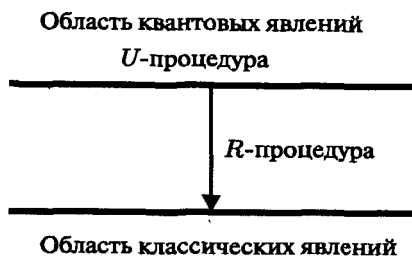


Рис. 6. Два модуса бытия и переход между ними

жество вопросов, создает ощущение, что за ними должны стоять какие-то более глубокие принципы и понятия. Далее, претендуя на выведение свойств пространства-времени, эта программа не даст, к примеру, обоснования размерности классического пространства-времени и ряда других проблем.

То, что искомая более общая теория, скорее всего, должна рассматривать пространство-время не как первичное, хорошо иллюстрирует и рисунок (рис. 6), где схематически изображены два модуса бытия и переход между ними. Если мы строим теорию «вертикального» типа (И. Е. Тамм) и пространство-время существует на нижнем «этаже» этой теории, то вполне следует ожидать, что оно может и не быть первичным понятием.

Обсуждение возможного варианта такой теории мы отложим до следующей главы, а пока обсудим еще те принципы, которые могут говорить что-то о структуре такого рода теории.

§ 8. Принципы дополнительности и взаимности

Как представляется, подход, развиваемой в рамках данной работы, дает возможность ответить и на вопрос об онтологическом статусе импульсного пространства. Этот вопрос возникал выше в связи с обсуждением принципа взаимности. Уже обычная квантовая механика показывает выделенность импульсного представления, что позволило в свое время Паули поставить вопрос о первичности именно импульсного пространства, а не координатного. Близкие идеи рассматривались также Фоком, показавшим, в частности, что в импульсном представлении энергетические уровни атома водорода могут быть рассчитаны значительно более простым способом. Уравнения квантовой электродинамики, физики элементарных частиц записываются и решаются именно в импульсном представлении. Более того, используется также в основном гейзенберговское представление, где мы работаем по сути с операторами энергии и импульса. Несмотря на формальную эквивалентность обеих представлений, есть все

основания рассматривать представление Гейзенберга как более предпочтительное. Так, в отличие от представления Шредингера, оно обладает особым преимуществом — возможностью явно ковариантной формулировки теории [Садбери, 1989]. Кроме того, эквивалентность обеих представлений носит явно несимметричный характер. К примеру, т. н. многовременные моменты (функции корреляции двух операторов) определяются лишь только в представлении Гейзенберга. Например, функция корреляции двух наблюдаемых имеет вид

$$A(t)B(t') = \langle \psi(0) | A(t) | B(t') | \psi(0) \rangle.$$

Чтобы вычислить эту же функцию через шрёдингеровские величины при $t \neq t'$, надо знать еще дополнительно т. н. оператор эволюции

$$A(t)B(t') = \langle \psi(t) | AU(t-t')B | \psi(t') \rangle.$$

Простота и «предпочтительность» импульсного и гейзенберговского представлений позволяет поставить вопрос о соответствующем онтологическом референте. С чем можно соотнести импульсное пространство? Есть все основания считать таковым референтом «бытие в возможности». Действительно рассмотрим, к примеру, уравнение Дирака

$$(i\gamma^k \partial / \partial x^k - m)\psi = 0.$$

С точки зрения структуры оно имеет простой вид: действие некоторого оператора $i\gamma^k \partial / \partial x^k - m$ на поле (волновую функцию) ψ . Его можно переписать в виде

$$(i\gamma^k \partial / \partial x^k)\psi = m\psi.$$

С левой стороны на поле ψ действует опять некоторый оператор, а именно $i\gamma^k \partial / \partial x^k$, что есть (упрощенно говоря) не что иное как оператор импульса. Легко видеть, что в импульсном представлении оно записывается соответственно в следующем виде

$$\gamma^k p_k \psi = m\psi.$$

Если мы рассматриваем наиболее общий случай взаимодействия с электромагнитным полем, то уравнение Дирака запишется в виде

$$\gamma^k (i\partial / \partial x^k - eA)\psi = m\psi,$$

где A — вектор-потенциал электромагнитного поля, что также является фактически действием обобщенного импульса $p + eA$ на волновую функцию.

Теперь, если вспомнить, что квантовая механика описывает скорее возможности (амплитуды вероятностей) переходов и может формулироваться в гейзенберговском представлении, то можно показать, что им-

пульсное пространство мы должны соотносить с некоторой структурой, обладающей специфическими онтологическими характеристиками.

Операторы, рассматриваемые в квантовой механике, есть, вообще говоря, операторы энергии-импульса, но это и означает, что мы можем соотнести «бытие в возможности» с импульсным пространством. Наблюдаемый же импульс какой-либо частицы есть просто актуализация той или иной вероятности нахождения ее в соответствующем состоянии.

При таком рассмотрении сформулированный выше физический принцип взаимности обобщается. В соответствии с ним, если вспомнить формулировку Макса Борна, любой общий закон в координатном пространстве имеет «инверсный образ» в импульсном пространстве. Если соотнести, как мы сделали выше, импульсное пространство с «потенциальным», то этот принцип можно сформулировать таким образом:

Законы сущего на одном модусе бытия дублируют, а точнее, отображают законы сущего на другом модусе бытия, и наоборот.

Сформулированный в таком виде, этот принцип вовсе не является новым и хорошо известен в истории философии. Так или иначе он связан и с концепциями инь-ян в китайской философии, нама-рупа в индусской метафизике, с основными идеями платоновской и аристотелевской философии, а также с идеями «потенциального» и «актуального» в средневековой схоластике. Вовсе не случайно Нильс Бор идею дополнительности рассматривал в значительно более широком аспекте, нежели чем она вытекает из сущности квантовых процессов, и символ инь-ян ☯ китайской метафизики был высечен на его надгробии.

Принцип дополнительности, введенный Бором, носит частный характер и относится, говоря языком самого Бора, к «невозможности провести сколько-нибудь резкое разграничение между поведением атомных объектов и их взаимодействием с измерительными приборами, служащими для определения условий, при которых явления имеют место» [Бор, 1959. С. 187]. Эта «невозможность» означает то обстоятельство, что «любая попытка подразделения явлений потребует изменения экспериментального устройства, вводящего новые возможности взаимодействия объектов с измерительными приборами... Следовательно, данные, полученные при различных условиях эксперимента, не могут быть поняты внутри единой всеобъемлющей картине, но должны рассматриваться как дополнительные в том смысле, что только вся совокупность явлений исчерпывает возможную информацию об объектах» [Бор, 1959. С. 187]. Невозможность одновременного измерения двух параметров A и B квантовой системы, связанных соотношением коммутации $[A, B] = -i\hbar$, и вызывает, с одной стороны, их описание на языке дополнительности, а с другой — отсылает к рассматриваемому принципу взаимности.

Если мы рассматриваем принцип взаимности, как он был сформулирован выше, а именно то, что законы сущего на одном модусе бытия отображают законы сущего на другом модусе бытия, и наоборот, то понятно, что эти законы с точки зрения математики должны выражаться в той или иной аналитической форме. Частным случаем этого и является закон коммутации двух операторов $[A, B] = -\hbar$. Именно он приводит, что хорошо известно, и к принципу неопределенности, и к принципу дополнительности.

Интуиция Нильса Бора заставляла его рассматривать дополнительность как более широкий принцип, нежели каким он следовал из анализа особенностей взаимодействия квантового объекта с прибором. Уже анализ соотношения неопределенностей заставлял его поставить вопрос о «физической реальности» динамических переменных, т. е., по сути дела, импульсного пространства. В статье, которую мы только что цитировали, он пишет: «Так, предложение типа — „мы не можем одновременно знать как импульс, так и положение атомного объекта“ сразу же поднимает вопрос о физической реальности этих двух свойств объекта (выделено мной — А. С.), ответ на который может быть дан только после исследования условий недвусмысленного употребления пространственно-временных понятий, с одной стороны, и динамических законов сохранения — с другой. В то время как соединение этих понятий в единую картину причинной цепи событий составляет сущность классической механики, то обстоятельство, что исследование „дополнительных“ явлений требует взаимоисключающих экспериментальных приспособлений, освобождает место для закономерностей, недоступных пониманию в рамках такого описания» [Бор, 1959. С. 188–189]. «Доступность» же пониманию, на наш взгляд, и открывает принципиальным образом подход, развиваемый в рамках данной работы. С точки зрения математики он должен эксплицироваться в теории совершенно особого типа.

До недавнего времени теорий подобного рода просто не существовало, однако ситуация существенно изменилась с появлением так называемой бинарной геометрофизики, представляющей теорию как раз такого рода. До сего времени она практически не подвергалась философскому анализу. Эта теория позволяет совершенно по-новому взглянуть на квантовую механику и предложить один из возможных путей решения проблем квантово-механической онтологии.

§ 9. Калибровочные поля и теория вакуума в полионтической парадигме

Создание единой теории всех физических взаимодействий и частиц — фундаментальная задача современной физики. Оно базируется на трех основных физических идеях, рассматриваемых в настоящее время как наи-

более фундаментальные: о калибровочной природе всех физических взаимодействий, о лептонно-кварковом структурном уровне в строении вещества и о спонтанном нарушении симметрии первичного вакуума.

В современной теории поля укоренилось представление, что каждому типу взаимодействий соответствует некоторая группа симметрий, а поля-переносчики взаимодействий трактуются как нарушения этих симметрий. В этом и состоит основная идея калибровочного подхода. Как известно, каждый тип элементарных частиц характеризуется своим специфическим законом сохранения. В свою очередь, как показывается в теоретической физике, каждый из законов сохранения является проявлением определенного вида симметрии. Оказывается, что существуют т. н. «внутренние» симметрии, не связанные с преобразованиями реального пространства-времени. Требование инвариантности законов природы при локальных, т. е. зависящих от пространственных координат преобразований, связанных с этими «внутренними» симметриями, приводит к тому, что в уравнения движения частиц приходится вводить добавки, которые и описывают взаимодействие частиц.

Примечательная особенность современного подхода в теории поля в том, что все поля (а вместе с тем и частицы) оказываются определенными геометрическими объектами. Так, адекватным математическим аппаратом теории калибровочных полей является т. н. теория расслоенных пространств. «Слои» (с которыми и связаны те или иные внутренние симметрии) — различные дополнительные пространства, связанные с обычным пространством-временем, которое рассматривается как «базовое пространство», или «базовая поверхность». К этой поверхности могут быть построены дополнительные пространства: касательные плоскости, нормали, какие-либо другие геометрические структуры. Расслоенное пространство и есть совокупность всех слоев, находящихся в определенном отношении друг с другом.

Если базовое пространство искривлено (каковым, например, и является наше пространство-время с точки зрения общей теории относительности), то с каждой точкой такого пространства можно связать свои слои, которые в свою очередь связаны друг с другом определенными отношениями. Эти отношения описываются т. н. «связностями» расслоенных пространств. Оказалось, что калибровочные поля (например, фотоны, т. е. электромагнитное поле) описывается связностью расслоенных пространств. Поля, характеризующие частицы-источники (например, электроны), описываются сечениями расслоенного пространства. Внутренние симметрии, локализация которых и «порождает» калибровочные поля, является группой симметрии слоя.

Одна из фундаментальных и до сих пор открытых проблем современной физики — это как раз выяснение природы калибровочных полей.

«Одной из главных проблем современной физики является выяснение природы расслоений» [Латыпов и др., 2001, С14].

Формальный математический ответ состоит в том, что калибровочные поля связываются определенным образом с теми или иными «внутренними» симметриями. Природа же этих «внутренних пространств» остается непроясненной.

В рамках развиваемого подхода представляется естественным связать калибровочные поля с многомодусностью бытия, отнести «внутренние пространства» к рассматриваемому нами «трансцендентальному слою» реальности, или бытию в возможности. Действительно, если волновые функции частиц связывать с «бытием в возможности», то можно видеть, что с этим же «слоем» реальности связаны и калибровочные поля. Легко продемонстрировать это на примере электромагнитного поля.

«Начало калибровочной идеологии, приведшей к столь заметным успехам, положила работа 1954 г., написанная Янгом и Миллсом. Кстати говоря, не менее популярно другое название калибровочных полей — „поля Янга—Миллса“» [Визгин, 1985. С. 254]. Именно с этой статьи и отсчитывается обычно история единого подхода к описанию взаимодействий частиц различного типа. В целом это неверно: история такого подхода насчитывает несколько десятилетий¹. Сами Янг и Миллс, развивая свою теорию, имели пример электромагнитного поля. Вот что они писали в своей работе: «Весьма сходная ситуация имеет место в отношении обычной калибровочной инвариантности заряженного (электромагнитного поля — А. С.) поля. Изменение калибровки... означает изменение фазового множителя $\psi \rightarrow \psi'$, $\psi' = e^{i\alpha} \psi$, т. е. изменение, не приводящее к каким-либо физическим следствиям (выделено мною — А. С.). Так как ψ может зависеть от x, y, z, t , то относительный фазовый множитель ψ в двух различных пространственно-временных точках совершенно произволен. Иными словами, произвол в выборе фазового множителя имеет локальный характер» [Янг, Миллс, 1964. С. 30]. Переход от α к $\alpha(x, y, z, t)$ нарушает изначальную инвариантность, и в электродинамике, как известно, «для компенсации изменения необходимо вводить электромагнитное поле A_μ , которое преобразуется при калибровочном преобразовании по закону $A'_\mu = A_\mu + (1/e)(\partial\alpha/\partial x_\mu)$ » [Янг, Миллс. Там же].

О связи локальной калибровочной инвариантности с электромагнитным полем было хорошо известно, и, как отмечает В. П. Визгин, «локальные калибровочные преобразования

$$\begin{aligned}\psi' &= e^{i\alpha} \psi, \\ A'_\mu &= A_\mu + (1/e)(\partial\alpha/\partial x_\mu)\end{aligned}$$

¹ Истории изложения этого вопроса мы следуем в основном прекрасной монографии В. П. Визгина «Единые теории поля в первой трети века» (М.: Наука, 1985).

могли быть открыты только после создания квантовой механики» [Визгин, 1985. С. 256].

Локальные калибровочные преобразования волновых функций и их связь с калибровочными преобразованиями потенциалов поля, «а также инвариантность волновых уравнений КМ с учетом электромагнитного взаимодействия относительно сочетания этих преобразований были установлены сразу же после возникновения квантовой механики, в 1926 г.» [Визгин, 1985. С. 267]. Огромную роль в этом сыграли работы Калуцы, Клейна, В. А. Фока, Ф. Лондона и особенно Г. Вейля. Его исследования по представлению групп и их применению к квантовой механике были им суммированы в книге «Теория групп и квантовая механика». Именно в этой книге, первое издание которой появилось в 1928 г., идея калибровочной симметрии была сформулирована со всей очевидностью. Как отмечает В. П. Визгин, требование калибровочной инвариантности Вейль связывает с двумя моментами. Во-первых, требование инвариантности такого рода «связано с ненаблюдаемостью волновых функций и с тем, что непосредственный физический смысл имеют их квадраты, т. е. величины $\psi^* \psi$. Во-вторых, он полагал, что новый „принцип калибровочной инвариантности“ в противовес его геометризованной теории поля¹ „объединяет не электричество и гравитацию, а скорее электричество и материю“» [Визгин, 1985. С. 270].

Вейль, как позднее Янг и Миллис, связывает калибровочную инвариантность с непосредственной ненаблюдаемостью волновой функции. Такого рода «ненаблюдаемость» в подходе, развиваемом в данной работе, представляется естественным связать с тем «трансцендентальным слоем» реальности, которое мы обозначаем как «бытие в возможности». При этом свое, естественное толкование на языке философских категорий обретают и «внутренние», калибровочные симметрии, природа которых до сих пор не получала удовлетворительного объяснения.

Волновые функции ψ , фигурирующие в уравнениях квантовой механики, действительно являются ненаблюдаемыми. Эта «ненаблюдаемость» связана с их существованием, отнесенностью их к модусу бытия потенциального. «Ненаблюдаемость» эта совершенно особого рода, она проявляется в ряде эффектов, например, Ааронова—Бома.

В этом опыте, как известно, магнитное поле влияет на поведение заряженной частицы там, где его нет! Формальный математический ответ состоит в том, что на поведение частицы оказывает влияние сам вектор-потенциал A электромагнитного поля, непосредственно не наблюдаемый и входящий в уравнение Шредингера. Особенностью электромагнитного

¹ Ранее, в 1918 г., Вейль, опираясь на принцип близкодействия и расширенный принцип относительности, разработал такой вариант геометрической теории поля, в которой ему удалось связать в едином подходе гравитационное и электромагнитные поля.

поля является то, что вектор-потенциал A является для него и волновой функцией. Её же существование мы связываем непосредственно с бытием в возможности.

Заметим, что в рамках нашего подхода естественным образом получает разрешение старая дилемма в физике « B или A ?»¹. Суть ее такова. В классической электродинамике основной физической характеристикой электромагнитного поля считались напряженности электрического и магнитного полей (E и B), потенциалы же (A) рассматривались как величины вспомогательные. Считалось, что силы, действующие на частицы, определяются напряженностями полей, а вектор-потенциал A , определенный с точностью до градиента некоторой скалярной функции, «нерелевантен» и является всего лишь удобной для вычислений, формальной математической величиной. В квантовой механике оказалось все наоборот, потенциалы стали играть фундаментальную роль. Именно они и только они входят в уравнение Шредингера и играют ключевую роль в описании квантового поведения и взаимодействия частиц.

Представляется интересным отметить, что потенциалы электромагнитного поля, как только они появились в истории физики, изначально связывались с «ненаблюдаемостью» и «неизмеримостью» [Визгин, 1985. С. 256–267]. Пробразом векторного потенциала оказалось понятие электротонического состояния, которое впервые ввел Фарадей. Для него оно являлось *основной величиной* в теории электромагнетизма. Концепция такой величины, от изменения которой, а не от ее абсолютной величины, зависит ток индукции, появилось в первой части его «Исследований». В дальнейшем именно фарадеевское понятие электротонического состояния оказалось в значительной мере уже для Максвелла исходным в его теории электромагнитного поля. Развиваемые им механические аналогии позволяют ему называть электротоническое состояние «электромагнитным количеством движения»². «То, что я называл электромагнитным количеством движения, является той же самой величиной, которую Фарадей обозначил как электротоническое состояние тока, любое изменение которого порождает действие электродвижущей силы, подобно тому, как изменение механического количества движения влечет за собой действие механической силы» [Максвелл, 1954. С. 273]. По отношению к обычному электромагнитному полю «электромагнитное количество движения» выступает как более фундаментальная величина, «так как именно через нее и через скалярный „электрический потенциал“ выражаются напряженности полей. То обстоятельство, что „электромагнитное количество движения“ определено лишь с точностью

¹ Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1977. С. 15–17. Перизд. в URSS в 2004–2009 гг. См. так же цит. соч. *Визгина В. П.* С. 256–265.

² Интересно отметить, что в уравнениях квантовой механики вектор-потенциал входит в виде обобщенного импульса $p_\mu = p_\mu + (e/c)A_\mu$.

до градиента от произвольной функции пространственных координат, Максвеллу было известно со времени его первой работы по электродинамике. Но и эта калибровочная неоднозначность электротонического состояния, и ясное понимание, что сама эта величина ненаблюдаема, а наблюдаемые явления зависят лишь от ее изменения, не помешали Максвеллу признать фундаментальный физический характер этого состояния» [Визгин, 1985. С. 261].

Наряду с идеей калибровочных полей, в современной физике ключевую роль играет идея вакуума. Вакуум рассматривается не как абсолютное ничто, как представлялось ранее, а как некоторое низшее состояние квантованных полей, характеризующееся отсутствием каких-либо реальных частиц. Классический вакуум (полное отсутствие поля) по сути означает наличие определенных (равных нулю) значений полевых динамических переменных. Квантовый же принцип неопределенности говорит о невозможности для квантовых полей иметь в фиксированной точке пространства одновременно нулевое значение некоторой переменной и ее нулевую скорость изменения. Это и порождает специфическое свойство квантованных полей — их нулевые колебания, принципиально не устранимые, их своеобразное «дрожание», которое зафиксировано экспериментально. Вакуумные флуктуации (нулевые колебания) существуют в каждой точке пространства и могут взаимодействовать с любыми элементарными частицами.

Понятие вакуума стало одним из основных в том смысле, что его свойства определяют свойства всех остальных состояний. Частицы и поля являются в некотором смысле лишь «модификацией» вакуума, а их свойства определяются взаимодействием с самим вакуумом, структуры, их породившей. Вакуум по современным представлениям обладает сложной структурой, однако его онтологический статус до сих пор оставался непроясненным. Он рассматривался как некоторый «резервуар», откуда «извлекаются» те или иные частицы. Однако в рамках рассматриваемой концепции его природа (точнее, онтологический статус) становится совершенно ясной.

Вакуум, как уже говорилось выше, — низшее состояние некоторого поля. Так, например, в квантовой электродинамике электромагнитное поле описывается гамильтонианом, который имеет следующий вид

$$H = \sum 2\text{ch}\chi(N + 1/2),$$

где N — число частиц (фотонов). Гамильтониан описывает полную энергию поля, и, когда фотоны отсутствуют, энергия равна не нулю, а некоторой «нулевой энергии»

$$H_0 = \sum 2\text{ch}\chi(1/2).$$

Физически это интерпретируется как вакуум (в данном случае электромагнитный), откуда «извлекаются» реальные фотоны и куда они переходят при их поглощении (например, атомом). Мы привели несколько уп-

рощенный вид гамильтониана, вообще же он является некоторым квантовым оператором. *Оператор же некоторой физической величины, точно так же как и волновая функция, является величиной, существование которой связано с модусам бытия в возможности.*

При нашем подходе реально мы наблюдаем лишь бытие актуальное. Вакуум же есть то «потенциальное», откуда частицы появляются. Когда рассматривается только одномодусное бытие, что и происходит в основном до сих пор в физике, понятие вакуума остается некоторой загадкой.

ГЛАВА VI

БИНАРНАЯ ГЕОМЕТРОФИЗИКА В РАМКАХ ПОЛИОНТИЧНОЙ ПАРАДИГМЫ

§ 1. Квантовая механика и бинарная геометрофизика

Эту весьма интересную и многообещающую концепцию предложил Ю. С. Владимиров. Его теория, на наш взгляд, позволяет переосмыслить все здание современной физики совершенно на новой основе. Эта концепция оказалась во многом созвучной интенциям и самого автора, следующим из философского анализа квантовой механики. Сама теория Владимирова целиком нами анализироваться не будет: это тема отдельного и серьезного исследования. Мы остановимся только на его понимании КМ.

При построении своей теории *бинарной геометрофизики* Ю. С. Владимиров отталкивается от абстрактных и весьма общих понятий — *физической структуры* и *отношения*. В основе определения структуры лежит, как известно, предположение о существовании одного или двух множеств элементов (это могут быть множества тел, частиц, точек, событий, людей и т. д.) и наличие отношений между этими элементами. Ключевым является понятие *отношения*: оно определяет реляционный характер развиваемой автором теории.

Показывается, что, опираясь на множество двух элементов, можно построить содержательную теорию — так называемую *теорию бинарных физических структур*. В первой главе мы не зря остановились на принципе взаимности, отсылающем нас к изначальной дуальности бытия — той бинарности, что и являлась путеводной нитью для Ю. С. Владимирова при построении им своей теории [см. Владимиров, 1993. С. 117–118]. Автор при разработке концепции *бинарной геометрофизики* опирался на работы Ю. И. Кулакова, также исходившего из идеи бинарности, проявляющейся во многих аспектах физики и философии.

Кратко поясним, что представляет собой теория бинарных физических структур. Рассматриваются два множества элементов. Пусть это будут множества M и N (см. рис. 7). «Элементы первого множества обозначаются прописными латинскими буквами (i, j, k, \dots), а элементы второго множества — греческими ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$). Между любой парой элементов из разных множеств задается парное отношение — некоторое комплексное (вещественное) число $u_{i\alpha}$. Постулируется, что имеется некий алгебраический закон, связывающий все возможные отношения между любыми r элементами множества M и s элементами множества N :

$$\Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \dots, u_{kj}) = 0. \quad (3.1)$$

Целые числа r и s характеризуют ранг (r, s) бинарной системы комплексных отношений (БСКО). Существенным положением теории является требование фундаментальной симметрии, состоящее в том, что закон (3.1) справедлив при замене взятого набора элементов на любые другие в соответствующих множествах. Фундаментальная симметрия позволяет записать функционально-дифференциальные уравнения, из них найти вид как парных отношений $u_{i\alpha}$ так и саму функцию Φ » [Владимиров, 1998. С. 22–23].

Постулируется, что рассматриваемые множества описывают состояния частиц. «Элементы первого множества M характеризуют начальные состояния частиц, а элементы второго множества N — конечные состояния. Таким образом, в самых основных понятиях БСКО оказывается заложенной идея эволюции (времени), перехода частиц из начального в конечное состояния — начало, конец и сам факт перехода (отношения) между ними» [Владимиров, 1998. С. 24–25].

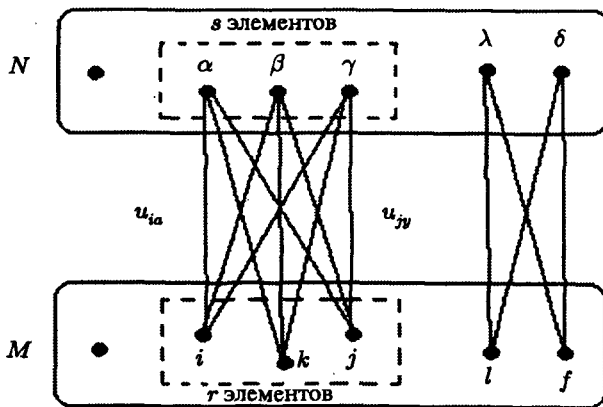


Рис. 7. Бинарная система отношений (структура) ранга (r, s)

Сразу отметим, что в развиваемой парадигме понятия *бинарности*, *отношения* (а, следовательно, и времени) оказываются базисными и связанными с самими фундаментальными основаниями мира.

В нашу задачу не входит анализ всей реляционной теории пространства-времени и взаимодействий, развиваемой Ю. С. Владимировым. Мы остановим свое внимание только на тех его результатах, что касаются непосредственно КМ. В отличие от всех остальных интерпретаций КМ, эта трактовка (а точнее было бы сказать, парадигма) имеет целый ряд особенностей.

В то время как стандартная КМ (во всех ее интерпретациях) строится на фоне классического пространства-времени, в *бинарной геометрофизике* его наличие *заранее не предполагается*. «Классические пространственно-временные отношения строятся параллельно с формированием квантово-механических закономерностей» [Владимиров, 1998. С. 141]. (Заметим, что такое положение дел хорошо согласуется с нашими выводами о фундаментальной роли времени в стандартной КМ и о вторичности пространственных отношений).

Владимиров при построении своей теории отмечает, что современная физика рассматривает два класса принципиально различных объектов — *макрообъекты* (m) и *микрообъекты* (μ). Соответственно, физические теории, описывающие эти объекты, можно обозначить символами $R(m)$ и $R(\mu)$.

«Эти два класса теорий существенно отличаются друг от друга, но их роднит общее, — в них чрезвычайно важную роль играет понятие *системы отсчета*... Под системой отсчета понимается некий измерительный комплекс, а методы задания системы отсчета — это способ привязки понятий теории к возможностям измерительной аппаратуры наблюдателя» [Владимиров, 1998. С. 19]. Опираясь на анализ оснований квантовой механики, проведенный В. А. Фоком, автором утверждается, что в понятие системы отсчета необходимо вкладывать нечто большее, чем просто состояние движения наблюдателя, как это понималось в классической физике. Отмечается важная аналогия между системами отсчета в теории относительности и макроприбором в квантовой механике. В. А. Фок утверждал, что «понятие относительности к средствам наблюдения (в квантовой механике — А. С.) есть в известном смысле обобщение понятия относительности к системе отсчета. Оба понятия играют в соответствующих теориях аналогичную роль. Но в то время как теория относительности, которая опирается на понятие относительности к системе отсчета, учитывает лишь движение средств наблюдения как целого, в квантовой механике необходимо учитывать и более глубокие свойства средств наблюдения» [Фок, 1973. С. 73].

В современной квантовой механике и физике микромира всегда подразумевается наличие макроприбора, относительно которого производится

описание. «Даже тогда, когда в квантовой теории описывается взаимодействие микрочастиц друг с другом, всегда подразумевается существование макрообъектов, и микрообъекты описываются терминами отношений микрообъектов к макрообъектам. Давайте подчеркнем это обстоятельство тем, что во введенном выше символическом обозначении теории явно отметим снизу символом макрообъектов m факт описания объектов относительно макроприборов. Тогда классическую физику (первый класс теорий) следует обозначать символом $R_m(m)$, а второй класс теорий, описывающих микрочастицы, — символом $R_\mu(\mu)$ » [Владимиров, 1998. С. 20].

В основу бинарной геометрофизики, как уже говорилось выше, кладутся *отношения* между некими первичными элементами, составляющими частицы (объекты). Первоначально — это лишь абстрактные понятия, параметры элементов, характеризуемые некими комплексными числами, из которых впоследствии строятся прообразы общепринятых понятий. Сами по себе эти первоначальные отношения и параметры *не являются наблюдаемыми* понятиями. Подчеркивается, что наблюдаемые (в классическом смысле) должны возникать из прообразов стандартных теорий. Возникает задача — перебросить мостик между величинами, вводимыми в бинарной геометрофизике, и классическими измеряемыми величинами.

Предварительно необходимо уточнить — что же представляет собой измерение, или, точнее, каким образом оно осуществляется. «Можно утверждать, что все классические измерения состоят в счете каких-то событий и в сопоставлении чисел происшедших событий. Какие события иметь в виду и как их считать, — зависит от конкретных ситуаций. Очевидно, для осуществления счета и, тем более, для сопоставления чисел различных событий необходимы достаточно сложные системы с памятью, каковыми являются макроприборы. Только на макроуровне можно осуществить измерительные процедуры. Уже отсюда ясно, что в теориях вида $R_\mu(\mu)$, опирающихся лишь на свойства отдельных микрочастиц, в принципе невозможно говорить о наблюдаемых величинах и понятиях» [Владимиров, 1998. С. 152].

Такой переход от первичных понятий реляционной теории микромира к обычным макроскопическим (классическим) пространственно-временным представлениям далеко не тривиален.

Первоначально рассматривается взаимодействие на самом элементарном уровне, где физический мир представляется в виде двух достаточно больших множеств элементов, между которыми имеют место отношения, описываемые БСКО некоторого ранга.

В каждом из двух множеств элементов различаются следующие 4 «характерные подмножества элементов, образующих

- 1) некоторый выделенный объект;
- 2) некоторый второй объект, взаимодействующий с первым;

- 3) базис из эталонных элементов;
- 4) частицы (материю) всего окружающего мира.

Первые три из характерных подмножеств могут быть элементарными, образующими простейшую частицу или элементарную базу, так и более сложными вплоть до макрообъектов» [Владимиров, 1998. С. 76] (см. рис. 8).

Показывается, что без учета четвертого характерного множества (частиц окружающего мира) невозможно ввести прообраз ряда ключевых физических понятий. Здесь реализуется принцип Маха, который в концепции Владимирова играет одну из ключевых ролей. Заметим, что при отказе от априорного пространства-времени приходится говорить только о прообразе принципа Маха, поскольку автор опирается только на прямые отношения между элементами-событиями, что соответствует использованию концепции дальнего действия.

Заметим также, что первоначально из элементарных понятий теории в концепции Владимирова непосредственно строится импульсное пространство и одновременно с ним прообраз действия. Координатное пространство-время возникает, если так можно сказать, на заключительной стадии теории. Таким образом, импульсное пространство оказывается в некотором смысле более первичным, чем координатное. Введение классических понятий типа расстояния, интервала и т. д. оказывается возможным только относительно макроприбора, который является достаточно сложным ансамблем элементарных базисов. На примере массивного лептона иллюстрируется суть перехода к классическому пространству-времени.

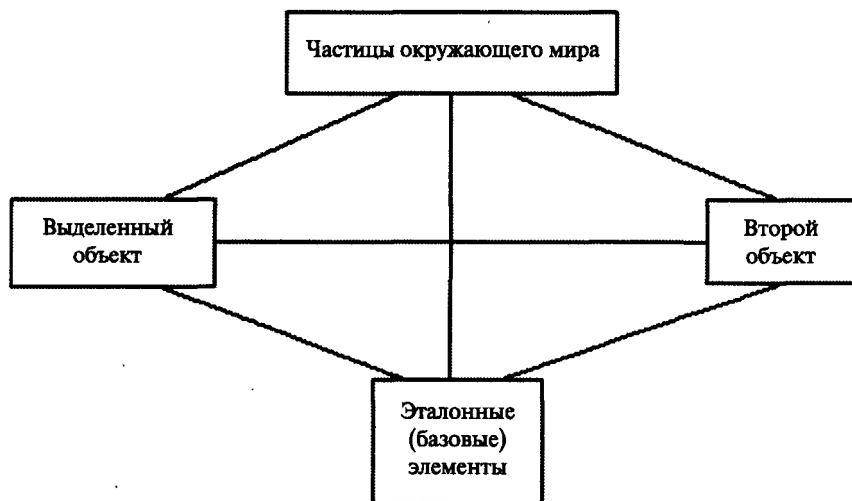


Рис. 8. Четыре характерных подмножества элементов теории

Массивная частица, как и в стандартной квантовой теории, описывается (что в теории Владимирова не постулируется, а выводится из первичных понятий!) биспинорными волновыми функциями. Она определена с точностью до множителя, равного по модулю единице. Абстрагируясь от компонент столбца, такую волновую функцию можно записать в виде

$$\Psi = \exp(i\varphi). \quad (3.2)$$

Показатель экспоненциального фактора трактуется как прообраз физического действия S , и он представляется в виде

$$\varphi = S / \hbar = (1 / \hbar) p_{\mu} x^{\mu} \quad (3.3)$$

где компоненты p_{μ} (с точностью до коэффициента) строятся из параметров столбца функции Ψ , а x^{μ} имеют смысл лишь некоторого коэффициента при таком представлении показателя экспоненты. Эти «коэффициенты x^{μ} определяются из более первичных величин S и p_{μ} неоднозначно по нескольким причинам. Одной из них является 4-мерность этого выражения... Другой причиной неоднозначности x является то, что показатель экспоненты определён с точностью до аддитивного слагаемого $2\pi n$, где n произвольное целое число, то есть прообраз действия S может принимать значения:

$$S = S_0 + n \hbar, \quad (3.4)$$

где — $S_0 < 2\pi$ главное значение прообраза действия. Следовательно, коэффициент x в (3.3) может иметь значения:

$$x = (S_0 / p) + \hbar n / p. \quad (3.5)$$

Это общее свойство для координат компактифицированных размерностей, широко известное в теории Калуцы и Клейна» [Владимиров, 1998. С. 137–138].

Не останавливаясь на деталях, поясним суть дальнейших выкладок автора. Рассматривается ансамбль элементарных базисов, составляющих макроприбор. Из этого ансамбля выделяется подмножество элементарных базисов, относительно которых рассматриваемая частица характеризуется одним и тем же импульсом p . В общем случае частица может обладать естественно различными фазами φ или, соответственно, различными значениями прообразами действия S . «Можно говорить о некотором распределении главных значений S_0 на интервале от нуля до 2π . Поскольку подмножество элементарных базисов велико, естественно ввести плотность распределения $\rho(S_0)$ » [Владимиров, 1998. С. 138].

Точно такие же рассуждения можно провести для других подмножеств элементарных базисов с любым другим значением импульса $p(2)$.

Далее суммируются вклады всех таких значений, и в итоге каждой точке x оказывается сопоставленным некоторое комплексное число

$$\Psi = \sum \rho(p) \exp [(i/\hbar) px]. \quad (3.6)$$

Суммирование проводится по всем значениям импульса, т. е. для различных подмножеств элементарных базисов с различными значениями импульса p . Учитывая, что значения импульса p заполняют некоторую непрерывную область, вполне естественно перейти от суммирования в (3.6) к интегрированию по p . В результате получается известное преобразование Фурье величины $\rho(p) = \Psi(p)$ из импульсного пространства в координатное. Полученную комплексную величину $\Psi(x)$ следует интерпретировать как амплитуду вероятности пребывания частицы в соответствующей точке классического пространства.

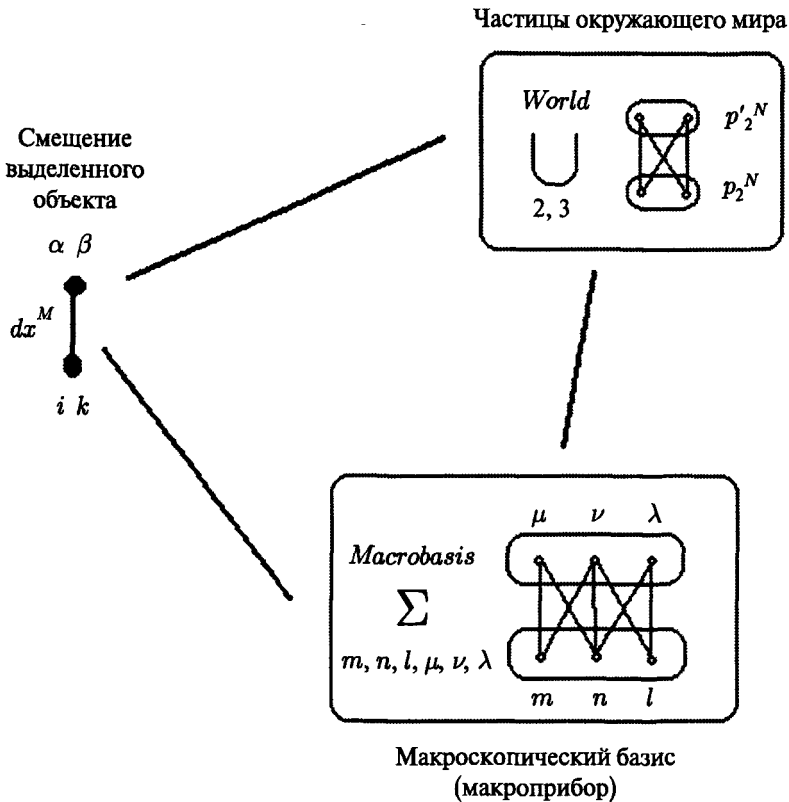


Рис. 9. Усреднение парного отношения выделенного объекта по ансамблю базисных элементов, составляющих макроприбор

Полученное преобразование широко применяется в рамках стандартной квантовой механики, которое проводится в рамках заранее заданного пространства. При предлагаемом подходе координатное пространство возникает, строится параллельно с квантово-механическими закономерностями и получаемыми соотношениями (известным и из стандартной КМ) и им придается физический смысл.

Автор развиваемой концепции далее показывает, как осуществляется переход к макрообъекту, на чем мы не будем подробно останавливаться (см. гл. 5.5 [Владимиров, 1998]). Заметим только, что такой переход осуществляется усреднением (суммированием) большого числа отношений между частицами, составляющими макрообъект, и ансамблем элементарных базисов, составляющих макроприбор [Владимиров, 1998. С. 148]. При этом демонстрируется, как некие первоначально неоднозначно определенные коэффициенты χ^{α} превращаются в практически фиксированные значения координат объектов в классическом пространстве-времени.

§ 2. Интерпретация КМ Ю. С. Владимирова и родственные ей трактовки

Изложенный выше материал представляет собой фактически новую интерпретацию квантовой механики, существенно отличающуюся практически от всех существующих. Можно привести характерные черты и отличия данной интерпретации.

1. Если стандартная квантовая механика строится в рамках априорного пространства-времени, то в излагаемом подходе его существование заранее не предполагается. Классические пространственно-временные отношения строятся параллельно с формированием квантово-механических закономерностей. Отсюда и возникает разница в интерпретациях. «В стандартном изложении квантовая механика практически не связана с геометрией (теорией пространства-времени). Поля микрочастиц вкладываются в пространство-время и констатируется факт, что классические геометрические представления неприменимы к отдельным микрочастицам. В интерпретации Н. Бора геометрические и динамические свойства материи имеют дополнительный друг к другу характер, что, в частности, отражено в квантово-механическом принципе неопределенностей... В нашем же подходе (подходе Ю. С. Владимирова — А. С.) квантовая механика одновременно становится теорией более элементарных отношений в микромире, являющихся прообразом классических геометрических отношений. Другими словами, предлагаемая... интерпретация квантовой теории тесно связана с теорией пространства-времени (геометрией)» [Владимиров, 1998. С. 141–142].

2. Данная концепция предлагает трактовку сущности вероятностного поведения микрочастиц в квантовой механике. «С точки зрения предложенного подхода одной из основных причин вероятностного характера квантовой теории является цикличность (компактифицированность) первичных отношений, описываемых БСКО... Такие отношения невозможно вложить в классическое пространство-время иначе, как размазав их по нему вероятностным образом.

Для первичных отношений нет классического понятия больше-меньше... Волновой характер частиц — это следствие вложения неархимедовых отношений в классическую геометрию, удовлетворяющую аксиоме Архимеда. В предложенной формулировке теории микромира... вскрывается подоплека волновых свойств частиц. Более того, предложен путь перехода от первичных циклических понятий к классическим (некомпактифицированным) представлениям» [Владимиров, 1998. С. 142–143].

3. Существует (с точки зрения бинарной геометрофизики) еще одна причина вероятностного описания микромира, связанная с *суммированием по ансамблю элементарных базисов, составляющих макроприбор*. Классические понятия (расстояние, промежуток времени и др.) возникают при этом только при переходе к макроприбору.

Отмечается и особая роль измерительного прибора. «В концептуальном плане в новой интерпретации квантовой механики роль макроприбора даже еще большая, нежели в общепринятой копенгагенской формулировке. Теперь оказывается, *макроприбор не только влияет на состояния частицы и результаты эксперимента, но и становится ответственным за сами классические пространственно-временные представления, можно сказать, за всю идею классического пространства-времени.*

Благодаря существованию макроприбора (макросистем) квантовая теория принимает статистический характер. Одновременно с этим появляется возможность построить статистическую интерпретацию самого классического пространства-времени» [Владимиров, 1998. С. 143].

4. *Впервые предлагается теоретическое обоснование феноменологически установленных понятий и процедур стандартной квантовой механики.* К ним относятся понятия комплексной амплитуды вероятности, построение плотности вероятности через квадратичную комбинацию из амплитуды вероятности и комплексно сопряженной ей величины и др.
5. Использование спиноров для описания основных типов элементарных частиц получает строгое логическое обоснование. «Спинорность несет в себе прообраз основных свойств классического пространства-времени, таких как размерность, сигнатура, метрические свойства и т. д.

6. Принципиально новым моментом предложенного подхода является необходимость совместного рассмотрения структуры макроприбора и рассматриваемых относительно него других объектов. В частности, это должно сказываться на определении связанных состояний частиц (атомов, молекул и т. д.)» [Владимиров, 1998. С. 144].

Как уже отмечалось выше, данная трактовка КМ, на наш взгляд, является совершенно новой. Тем не менее, существуют трактовки весьма близкие к рассмотренной, что отмечается и самим Владимировым. Среди них он выделяет статистическую интерпретацию Д. И. Блохинцева, 5-Оптику Ю. Б. Румера и фейнмановскую трактовку КМ.

Трактовку КМ Д. И. Блохинцевым мы уже рассматривали выше. Напомним, что центральным понятием в трактовке Д. И. Блохинцева является понятие квантового ансамбля, создаваемым макроскопическим объектом, природа которого, как подчеркивает Ю. С. Владимиров, не раскрывается, имеет «скрытую, загадочную, природу». В новом же подходе, «с позиции бинарной геометрофизики раскрывается смысл этого ансамбля — его составляет совокупность элементарных базисов (частиц), из которых образован макрообъект. Именно множество отношений в различных элементарных базисах образует то, что Блохинцев называл „неограниченным повторением ситуаций“» [Владимиров, 1998. С. 145].

5-Оптика Ю. Б. Румера развивалась в рамках 5-мерной теории Калуцы и Клейна. Особое значение сыграла работа А. Эйнштейна и П. Бергмана «Обобщение теории электричества Калуцы» [см. Эйнштейн, 1966. С. 492–513]. В этой работе рассматривался вопрос о причине ненаблюдаемости 5-й координаты — вопрос, который естественным образом возникает для всех многомерных теорий. Была высказана мысль, что дополнительное измерение (5-я координата) компактифицировано, т. е. связано с существованием некоего элементарного периода b . Это соответствует тому, что в развернутом пятом измерении все расстояния, отличающиеся на величину nb , являются склеенными друг с другом, т. е. неразличимы.

Позднее эта идея использовалась в многомерных геометрических теориях. «В ряде работ был поставлен вопрос о причинах такой компактификации... Задача ставилась так: полагалось, что нормальным для всех размерностей является некомпактифицированный (классический) характер, а компактифицированность должна находить свое объяснение. В данном подходе, в рамках бинарной геометрофизики, задача должна ставится наоборот, нормальным состоянием является циклический характер отношений (компактифицированность), а классический характер четырех измерений должен быть выведен из более элементарных циклических отношений» [Владимиров, 1998. С. 145–146].

Ю. Б. Румер предложил связать идею А. Эйнштейна и П. Бергмана о цикличности дополнительного измерения с квантовой механикой. По его

мнению, «этот путь ведет к обнаружению возможности приписать пятой координате S физический смысл действия, ее периоду b численную величину постоянной Планка \hbar и приводит к глубокому синтезу геометрических идей, заложенных в общей теории относительности, с идеями квантовой теории» (цит. по [Владимиров, 1998. С. 146]). В своих работах Ю. Б. Румер столкнулся с рядом сложностей, которые удастся преодолеть только в рамках бинарной геометрофизики.

Как родственное в фейнмановской формулировке Ю. С. Владимиров отмечает использование теории прямого межчастичного взаимодействия, т. е. использование принципа дальнего действия. Сам Р. Фейнман писал: «Теорию электромагнетизма, развитую Уилером и Фейнманом, ...можно сформулировать в виде принципа наименьшего действия, содержащего только координаты частиц. Именно попытка проквантовать эту теорию, не обращаясь к представлению о поле (выделено мной — А. С.), и привела автора к изложенной... формулировке квантовой механики» [Фейнман, 1955. С. 202].

Теперь, после рассмотрения всех основных принципов и трактовок квантовой механики, мы можем перейти собственно к построению квантово-механических онтологических представлений, что требует предварительного анализа оснований классической онтологии.

§ 3. Бинарная геометрофизика и модель полионтической реальности

Как уже было показано выше, один из возможных походов оказывается связанным с аристотелевской метафизикой. Дискурс такого типа позволяет описать полионтичность, существование иного модуса реальности, который мы соотносили первоначально с *dynamis* — «бытием в возможности», а также динамизм мира феноменального.

На возможность описания реальности в рамках аристотелевской метафизики указывали ранее как автор данной работы [Севальников, 1997, 2003], так и С. С. Хоружий [Хоружий, 1997] на основе его анализа виртуальной реальности, в том числе и виртуальных частиц в квантовой электродинамике. Такой категориальный язык, однако, сталкивается с проблемой *эссенциальности* сущего. Напомним, что этот вопрос возникал у Хоружего в связи с анализом виртуальных частиц.

Виртуальная реальность, как отмечал Хоружий, — неаристотелева реальность, и ее анализ требует выхода за пределы классического дискурса, «дискурса сущности». Такая попытка осуществляется у него, как мы помним, лишь при устранении «тотального господства» начал сущности, формы, причины и цели. В такой метафизике действительно открывается

принципиально иная возможность описания «концепции возникновения, события и явления». «Дискурс виртуального» требует, по Хоружему, освобождения от эссенциального детерминизма и телеологизма, что не предполагает понятий «устойчивого наличествования» и пребывания. Дискурс такого рода принадлежит «глагольному типу». При таком подходе, напомним, энергия изначально отделена от энтелехии-сущности. Она имеет исключительно «деятельностную» природу, т. е. существует лишь в действии и не существует «сама по себе», в самодовлеющем устойчивом пребывании, что характерно для любой обычной сущности. «Не допуская... никакой субстанциализации или гипостазирования, она представляет собой не „имя“, но „глагол“, и в структуре события, а затем и во всем дискурсе, она выступает как предикат, „сказуемое“; тогда как в эссенциальных дискурсах их доминирующий сущностный принцип выступает как грамматический субъект, „имя“, „подлежащее“» [Хоружий, 1997. С. 57]. Дискурс Хоружего рассматривает *бытие-в-действии*, *бытие-в-деле*, где как энергия, так и «событие, порожаемое ею, не причастны никакой форме, никакому телосу; именно в них реализуется чистая деэссенциализованность, инаковость всем эссенциальным началам» [Хоружий, 1997. С. 58].

Как мы уже старались показать в предыдущей главе, перейти к чисто деэссенциальному дискурсу не представляется возможным. Понятие сущности не устранимо при анализе реальности, иначе она рассыпается на хаос „пустых“ событий, за которыми ничего не стоит. При «тотальном устраниении» эссенциального начала мы получим скорее буддийское понимание вещей, где они как раз сущностно «пусты», определяются сочетанием *дхарм*, бытие которых и носит «мерцающий», «мгновенный» характер.

Тем не менее, не соглашаясь с понятием деэссенциальности у Хоружего, отметим то, что сближает наши позиции. Прежде всего это касается динамизма, энергичности сущего. И здесь действительно необходимо отметить, что классический аристотелевский аппарат оказывается не совсем адекватным, и именно в аспектах, имеющих непосредственное отношение к понятиям сущности и энтелехии.

Отметим сразу, что та тетрадная сетка понятий, которую мы использовали выше, хотя и позволяет описать практически все аспекты квантовой реальности, выглядит несколько тяжеловесной. Это во-первых.

Далее, сущность, или форма по Аристотелю, как, собственно, и платоновская идея, имеет вечное бытие. Здесь сущность (будь то форма, или идея) имеет статичный, *статуарный* характер, и этот же аспект статичности несет на себе мир феноменальный, являющийся, если так можно сказать, лишь бледной копией мира вечных идей. Энтелехия, или вышедшее к пребыванию, как *телос* (т. е. *цель, конец*), есть осуществление, ипостазирование формы и также неизбежно несет на себе отпечаток изначальной

статичности сущности. В результате то движение, являющееся сущностью *природного* по Аристотелю, относится лишь к становлению, генезису вещи, которая сама по себе носит (конечно, с оговорками) все же статуарный характер. Печать этой статуарности несет на себе практически вся античная философия, что отмечается и А. Ф. Лосевым. Он в своих «Очерках античного символизма и мифологии» убедительно показывает, что греческая философия являлась «скульптурным символизмом». «На темном фоне, в результате игры и борьбы света и тени, вырастает бесцветное, безглазое, холодное, мраморное и божественно-прекрасное, гордое и величавое тело — статуя. И мир есть такая статуя, и божества суть такие статуи; и города-государства, и герои, и мифы, и идеи — все таит под собой эту первичную интуицию... Тут нет личности, нет глаз, нет духовной индивидуальности. Тут что-то, а не кто-то, индивидуализированное Оно, а не живая личность со своим собственным именем... И нет вообще никого. Есть тела, и есть идеи. Духовность идеи убита телом, а теплота тела умерена отвлеченной идеей. Есть — прекрасные, но холодные и блаженно-равнодушные статуи» [Лосев, 1993. С. 68, 644, 645]. Такую статуарность придает всей схеме наличие в ней понятия энтелехии, статичной, неподвижной, как осуществление такой же неподвижной и вечной идеи (сущности), и вовсе не случайно критика Хоружим такого *энтелехийного* дискурса.

В принципе такого рода статуарность всей схемы можно легко устранить, если вспомнить, что даже уже у Аристотеля само понятие энтелехии (*εντελεχεια*) является синонимом понятия энергии (*ενεργεια*). Следовательно, более адекватным было бы рассмотрение не тетрадной, а триадной схемы:

- *ουσια* — сущность, «чтойность» вещи;
- *δυναμις* — возможность, потенциальность, потенция;
- *ενεργεια* — энергия, деятельность и действительность.

Эта триада (*ουσια* — *δυναμις* — *ενεργεια*) уже гораздо лучше отображает динамизм мира, его процессуальность. Вещь, объект (как *ενεργεια*) при этом приобретает динамизм, энергичность, что мы и стремились отобразить с самого начала. Именно эта триадная схема использовалась позднее в греческой метафизике¹.

На наш взгляд, действительно открывается возможность обращения к иной метафизике, построения совсем иного онтологического каркаса, ко-

¹ С переходом же на латинскую почву, *ενεργεια* превратилось просто в *act*, *operatio* — *действие*, что и привело неизбежно опять к дуальной статичной картине «форма — материя. Еще позднее, уже у Декарта, с радикальным устранением *скрытых качеств*, все сущее «сплюсилось» лишь до бытия наличного, сущего самого по себе, т. е. и привело к той идее *субстанциальности*, что и было объектом критики в нашей работе.

торый определенным образом совмещал бы «два пути» античной мысли, о которых говорил В. В. Ахутин (см. Главу IV): «путь, ведущий к стихии, и путь, ведущий к форме». Необходима такая понятийная сетка, которая учитывала бы и наличие сущности, и тот динамизм сущего, на который мы указывали выше. И здесь мы утверждаем о необходимости перехода к неаристотелевой метафизике, что требует несколько иного категориального каркаса.

Ключевым во всем последующем нашем анализе будет обращение к бинарной геометрофизической парадигме Ю. С. Владимиров и развиваемой в ее рамках трактовке квантовой механики. Именно она и поможет сформулировать, как нам представляется, наиболее адекватный язык для интерпретации квантовой теории и обеспечить как раз тот подход, о желательности которого мы говорили в конце предыдущего параграфа. Предварительно отметим главные выводы, следующие из бинарной геометрофизической парадигмы.

Несмотря на то, что сам Ю. С. Владимиров постоянно отмечает связь своей парадигмы с метафизикой, до сих пор отсутствовал философский анализ его концепции. Чрезвычайно плодотворная и многообещающая парадигма развивается во многом в рамках абстрактного математического подхода и требует своей интерпретации. Как нам представляется, подход к квантовой механике, развиваемый нами, позволяет уточнить те аспекты этой парадигмы, что ранее оставались в ней с философской точки зрения не до конца проясненными.

Начнем с того, что в качестве основных понятий в подходе, развиваемом Ю. С. Владимировым, выступают состояния частиц. Эти состояния, являясь фундаментальными, не определяются, и само это «понятие состояния должно восприниматься как самое первичное (примитив теории)» [Владимиров, 1993. С. 118]. Следует подчеркнуть также, что первичные элементарные понятия (параметры элементов) в рамках вводимых выше *бинарных систем комплексных отношений* (БСКО) «ни в коей мере не могут претендовать на статус наблюдаемых понятий в обычном их понимании. Из них строились некие комбинации, представляющие собой лишь прообразы ряда классических величин. Невозможно поставить эксперимент с целью определения отношений какой-либо конкретной элементарной базы, то есть выделенного электрона.

В связи с этим следует сравнить взгляды Э. Маха с развиваемыми здесь положениями. Они совпадают в главном — в использовании реляционного подхода в физике, в выборе отношения как ключевого понятия теории, но различаются в понимании характера наблюдаемости первичных отношений. По Маху, теория должна опираться только на непосредственно наблюдаемые понятия, тогда как в бинарной геометрофизике первичные отношения таковыми не являются. Наблюдаемыми становятся лишь

производные от них понятия после перехода к макрофизике» [Владимиров, 1998. С. 134–135].

Эти первичные понятия, выступающие как *сущности* частиц, являются по сути дела **трансцендентными к наблюдаемому**. Этот характер **трансцендентности** носит в бинарной геометрофизике **явный** характер. Так, напомним, что пространство-время не является здесь первичным, оно возникает, «разворачивается» в результате отношений между множествами элементарных объектов. Характер же существования их самих носит *надвременной* и *надпространственной* характер. С этой точки зрения становится хорошо понятным и принцип дальнего действия, являющийся фундаментальным в бинарной геометрофизике. *Дальнее действие* обусловлено характером непосредственных отношений (взаимодействий) частиц, существующих *вне классического пространства-времени* (см. Второй раздел книги [Владимиров, 1998]). Именно это дальнее действие и обнаруживается в нелокальности стандартной квантовой механики, проявляющееся, в частности, в знаменитом ЭПР-парадоксе. Нелокальность квантовой механики (или прямое межчастичное взаимодействие у Ю. С. Владимирова) выражает как раз факт первичного существования частиц вне обычного пространства-времени, их изначальную отнесенность к иному модусу бытия.

Очень важным представляется тот факт, что эти первичные структуры, будучи трансцендентными к обычной реальности, не являются статичными сущностями. Сам Владимиров называет их, к примеру, и *состояниями*, и «элементами-событиями», что подчеркивает их *динамический* характер, точнее говоря, *динамический* характер их существования. Понятие перехода между элементами первичных множеств также является фундаментальным, и только подчеркивает *изначальный динамизм* сущего. Собственно говоря, «бинарность отражает *суть* (выделено мной — А. С.) элементарной ячейки мироздания — начало, конец и сам факт перехода (отношения) между ними» [Владимиров, 1998. С. 25]. То первичное *отношение*, которое кладется в фундамент этой теории, есть *событие, переход* (между трансцендентными состояниями), т. е. то самое движение (в философском смысле), которое присуще природе изначальное.

Этот первичный переход между двумя элементарными состояниями происходит до времени и подтверждает наш вывод о существовании иной темпоральности, наряду с обычным временем, которое в этом смысле первичным не является, но, тем не менее, отображает фундаментальность *элементарного события*. Квантовая механика и «схватывает» эту выделенность времени и необходимости рассмотрения, по крайней мере, *двух времен*, связанных с двумя различными модусами сущего. Точнее, необходимо говорить о времени, связанном с классическим пространством-временем, и событием, отображающим переход для элементарных фундамен-

тальных структур, трансцендентных к обычной реальности. Для событий последнего рода как раз вполне применим дискурс Хоружего, на котором мы останавливались раньше.

Отметим также и принцип взаимности (аналогии или отображения) различных структур и модусов *сущего*, на который мы также хотели бы обратить внимание. Этот принцип, выделенный нами особо в первой главе, пока оставался у нас вне рассмотрения. Напомним, что в бинарной геометрофизике первичными являются отношения между элементами (частицами). Из этих отношений (параметров элементов) в виде некоторых комбинаций строятся компоненты импульсов (вводится импульсное пространство, при переходе от бинарных структур к унарным, см. [Владимиров, 1998. С. 27]) и одновременно с этим определяется прообраз классического действия. И уже только после этого, как бы на третьем этапе, формируется координатное⁹ пространство-время. Первоначальные структуры «разворачиваются», проявляются на разных «уровнях» сущего (например, импульсное и координатное пространство), и черты *проявленного* несут на себе «печать» первоначальной (бинарной) структуры. Например, спинорность, возникающая непосредственно из первоначальных бинарных структур, как уже отмечалось выше, «несет в себе прообраз (выделено мной — А. С.) основных свойств классического пространства-времени, таких как размерность, сигнатура, метрические свойства и т. д.» [Владимиров, 1998. С. 144]. Можно сделать вывод, что именно первоначальная бинарность, связывающая начало и конец события, и ответственна за принцип взаимности, рассмотренный нами выше.

Принцип аналогий, или взаимности, тесно связан с картиной полионтичной реальности, развиваемой в данной работе. Сущее на одном модусе своего бытия дублирует, а точнее, отображает сущее другого модуса.

Важное место в становлении (от первичных структур до макрообъектов в классическом пространстве-времени) занимает взаимодействие (отношение) между элементами. К примеру, для перехода от импульсного пространства к координатному используется ряд процедур:

- 1) применяется «прообраз принципа Маха, состоящий в суммировании вкладов в отношении между парой любых частиц со стороны третьих частиц (события с третьими частицами) всего окружающего мира;
- 2) принцип усреднения по элементарным базам, составляющим макроприбор, — только в результате этой процедуры возникает идея классического пространства-времени;
- 3) процедуру усреднения по частицам, составляющим макрообъекты, между которыми возникают классические пространственно-временные отношения» [Владимиров, 1998. С. 426].

Упомянувшийся в первой главе принцип «зависимости от иного», в данном случае проявляющийся как принцип, а точнее говоря, прообраз

принципа Маха, оказывается существенным в бинарно-геометрофизической парадигме. Мы действительно вправе говорить о синергичной реальности, о предметной реальности, выходящей к бытию. Слово «предметная» оказывается при этом не совсем точным. Объекты нашего мира оказываются динамическим образованиями, они несут на себе отпечаток первичного происхождения. И теперь мы вправе вновь вернуться к вопросу, который разбирался выше, — к той понятийной сетке, что позволила бы наиболее адекватно описать особенности квантовой реальности, «схватить» непротворчивым образом полионтичность и динамизм сущего.

Единственным традиционным понятием, которое учитывало бы и *сущностное* начало вещи, ее трансцендентность, и одновременно динамизм, является понятие *логоса* вещи. Понятие логоса обобщает, «вбирает» в себя понятие сущности вещи и при этом лишает ее статичности, превращает ее в сущность «глагольного» типа.

Вводимый Владимировым первичный переход как раз и является, точнее, репрезентирует первичный *логос*, а точнее, только один *слог* вещи, объекта. Сама *вещь*, *объект* есть не что иное в этой схеме как, говоря философским языком, синергичное ипостазирование логосов. Если вспомним схему Владимирова, то эта *синергичность* (*со-действие* элементов при проявлении объекта) проявляется в ней реальным и необходимым образом. Так, напомним, только один переход к обычным классическим пространственно-временным представлениям требует в бинарной геометрофизике наличия четырех подмножеств элементов:

- 1) некоторый выделенный объект;
- 2) некоторый второй объект, взаимодействующий с первым;
- 3) базис из эталонных элементов;
- 4) *частицы (материю) всего окружающего мира.*

В этой схеме явным образом проявляется не только синергичность, но и тот самый холизм, о котором мы говорили выше. Холизм, целостность мира, в конечном итоге — связь всего со всем проявляется в том своеобразном принципе Маха, что вводится Владимировым.

Динамизм сущего, объекта — проявляется также и в том, что «любая выделенная частица обладает разными отношениями в различных элементарных базисах» [Владимиров, 1998. С. 143]. «Элементарные базисы» и составляют макроприбор, и оказывается: **то, что мы наблюдаем, и как,** — зависит от того, какой набор «элементарных базисов», или приборов, мы выбрали. А это и есть не что иное как хорошо известный в квантовой механике «принцип зависимости от средств наблюдения», или, как мы его называли, «зависимость от иного».

Как относится понятие *логоса* к той триадной схеме, на которой мы остановились выше? На наш взгляд, понятие *логоса* ее несколько не меняет, но дополняет и существенно меняет акценты.

Триада (ουσια — δυναμις — ενεργεια) остается, только теперь понятие сущности (ουσια) динамизируется, окончательно лишается статуйности и статичности. Сама сущность уже носит логосный, «глагольный» характер, она выступает как «сумма», синергия логосов (λογοι). Эти динамичные сущности и являются прообразами («парадигмами») вещей. Всякая сущность такого логосного типа разворачивается, как это следует из теории Ю. С. Владимирова, не непосредственно, а через сферу динамического, возможного (через сферу δυναμις)¹ к действительному (сфере ενεργεια, в терминах предыдущего анализа). Таким образом, весь наблюдаемый мир своими основаниями содержится в трансцендентных логосах, и являемое (т. е. то, что мы наблюдаем) отображает (см. выше «принцип взаимности») эти самые логосы. Сама наблюдаемая материя, таким образом, не является чем-то «сущим самим по себе», а является чем-то меональным (греч. — μη ον), но несет в себе при этом отпечаток первичной логосности. Сами же логосы всегда остаются трансцендентными, являясь, при этом организующим и конституирующим началом всего сущего. Они выступают как скрепы бытия и его фундамент. Эти логосы (у Владимирова это скорее первичный «слог» ω_{α} , в котором и отображена бинарность) фундаментальны, их существование (и ничего больше!) постулируется, они ниоткуда более не выводятся.

Взаимодействие в этой парадигме, на чем мы останавливались выше, осуществляется до разворачивания обычного пространства-времени, вне его, чем и объясняется характер дальнего действия этой теории. Последний аспект, неправильно понимаемый, и заставляет скептически относиться к этой концепции, однако он выражает сущностно те же аспекты квантовой механики, как и, например, нелокальность ЭПР-парадокса. Существование частиц, их взаимодействие отнесено к иному — внепространственному модулю бытия.

Последняя схема, связанная с такого рода логосным пониманием сущего, кажется нам наиболее привлекательной и перспективной. Она отличается от более подробно рассматриваемой в этой работе схемы *потенциальное-актуальное*, хотя и содержит многие ее черты. Главное ее отличие — это четко просматривающееся и существующее *единство* сущего. Во-первых, здесь становится несколько иным различие *potentia* и *actus*. Говоря более точно, хотя мы и усматриваем такое различие, эти два модуля бытия не противопоставляются друг другу, а образуют единство. Далее, единство существует и для объектов, но не сущностное (их сущности по-прежнему отличаются друг от друга), а скорее, генетическое единство (прин-

¹ Напомним, что в бинарной геометрофизике из дуальных структур первоначально является унарное импульсное пространство, которое само по себе существует *вне и до* обычного пространства-времени и *до* наблюдаемых объектов.

цип Маха в бинарной геометрофизике). Последним данная концепция отличается от тех *холистских* концепций, где всё в конце концов оказывается *единым*.

Таким образом, мы приходим к несколько иной — *логосной* онтологической схеме. Здесь был обрисован только самый общий ее каркас, дальнейшее же развитие такого логосного (глагольного) дискурса — дело будущего.

Модель бинарной геометрофизики, рассмотренная выше, не является пока общепризнанной. Несмотря на всю ее привлекательность и многообещающий подход, представляется преждевременным делать какие-либо серьезные философские выводы, касающиеся ее сущности. Однако основные контуры той онтологической парадигмы, которые можно набросать на её основе, совпадают во многом с теми заключениями, что можно сделать и на основе анализа обычной квантовой механики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квантовая механика с самого момента своего зарождения занимала и занимает в истории науки особое место. Вряд ли можно найти другую теорию, которая вызывала бы столько споров, непонимания, порождала бы столько трактовок и интерпретаций, подчас радикально порывавших со здравым смыслом. Такие «жертвы» разума связаны, как представляется, с принципиально неверной метафизической установкой, которая господствует в новоевропейской культуре (не только в науке!) на протяжении уже более трех столетий. И дело здесь, как представляется, не только в идее *субстанциальности*, конституирующей онтологические основания этой культуры (М. Хайдеггер), а прежде всего в идее *моноонтичности* — подхода, принципиально устраняющего идею иерархичности бытия. Основной вывод всей работы как раз и состоит в том, что квантовая теория возвращает нас к полионтичной парадигме бытия. Существует иной, до феноменальный «слой» реальности, конституирующий *наблюдаемое*.

Существование такого модуса бытия определяет особенности поведения микрообъектов. Наиболее ярко это проявляется в особенностях принципа суперпозиции. «Суперпонируемое» состояние квантового объекта, всегда бросающего вызов «здравому смыслу», проявляющееся, например, в «одновременном» проходе микрообъекта через два отверстия в двухщелевом эксперименте, можно понять рационально, если отказаться от идеи существования объекта только на одном модусе бытия — бытия наличного. В свое время радикальный *номинализм* и *эмпиризм* способствовали в немалой степени рождению основных установок новоевропейского мышления и сыграли главную роль в отказе от идеи полионтичности. Но сегодня — и здесь нельзя не усмотреть иронию истории — именно опыт, эмпирия заставляет рассматривать бытие объектов на нескольких модусах сущего. Квантовый объект находится изначально в состоянии суперпозиции не *здесь и сейчас*, а существует в нерасчленимой целостности на ином модусе сущего, еще до пространства и времени, если принять во внимание бинарную геометрофизику. В опыте актуализируется лишь «проекция» такого состояния, что находится в прямом согласии с выводом Уиллера, что «сам по себе» квантовый объект не является ни волной, ни частицей, а есть нечто более сложное.

С изначальной отнесенностью квантового объекта к модусу бытия потенциального связана и нелокальность квантовой теории, проявляющаяся в ЭПР-парадоксе, а также во всех тех особенностях, где наши обычные представления отказываются работать. Модель полионтичной реальности, как показано в рамках данной работы, позволяет рационально объяснить и другие парадоксальные черты квантовой механики, непонятные в рамках других подходов.

Полионтичная модель, по убеждению автора, не является «метафорой»; она отображает действительные черты реальности. Вовсе не случайным представляется тот факт, что в ее рамках удастся рассмотреть с единых позиций и различные виды реальности — не только квантовую, но и, в частности, виртуальную. По крайней мере, сетка понятий, используемая для описания квантовой реальности, оказывается «жизнеспособной» и при описании более широкого круга явлений. Схватывая черты реальности, нельзя забывать, что данная модель является все-таки моделью. Судить о том, насколько адекватно она отображает действительность, можно будет только после создания более общей теории, в рамках которой удалось бы синтезировать в единое целое основные принципы не только квантовой теории, но и теории относительности и теории взаимодействия элементарных частиц.

В этом смысле как раз весьма привлекательной и перспективной становится парадигма бинарной геометрофизики, предложенная Ю. С. Владимировым. Действительно, эта парадигма претендует на весьма многое. Так, она предсказывает существование целого ряда новых эффектов в области физики элементарных частиц, позволяет здесь же рассчитывать с любой заданной степенью точности многие параметры, известные до сих пор только эмпирически, дает нетривиальное объяснение возникновения масс и зарядов частиц. В области квантовой механики этой парадигмой предлагается впервые теоретическое обоснование феноменологически установленных понятий и процедур, относящихся к этой теории. Это касается понятия комплексной амплитуды вероятности, построение плотности вероятности через квадратичную комбинацию из амплитуды вероятности и комплексной сопряженной ей величины. Получается строгое логическое обоснование использования спинов для описания основных типов элементарных частиц. Спинорность, как оказывается, несет в себе прообраз основных свойств классического пространства-времени, таких как размерность, сигнатура, метрические свойства и многое другое. Даже перечисление этих особенностей новой парадигмы (а этим далеко не исчерпываются ее возможности, о многом мы даже и не упоминали) заставляет очень и очень внимательно отнестись к ее особенностям, тем более что она практически не подвергалась философской рефлексии.

Хотя отправными пунктами нашей концепции являлись концепции Гейзенберга и Фока, хотелось бы упомянуть о малоизвестных попытках интерпретации квантовой механики в России физиком А. Галем (1924 год!) и богословом Н. Н. Фиолетовым (ранее 1940 г.). В этих концепциях, хотя в целом и неполных и содержащих ряд ошибочных положений, при анализе атомных эффектов была высказана мысль о существовании сверхчувственного, трансцендентного слоя реальности, обуславливающего «странное» поведение микрообъектов. Эти концепции резко контрастируют с копенгагенской трактовкой, напрямую запрещающей поиск чего-то иного за квантовым феноменом. Концепции Галя и Фиолетова истолковывали теорию квантов с религиозных позиций, и, естественно, не получили в то время никакого резонанса в России. На Западе же они были просто неизвестны.

Эту близость нашего подхода к различного рода метафизическим системам мы хотели бы отметить особо. Весьма близкими оказываются здесь концепция «нама-рупа» в индусской метафизике, построения неоплатоников, *логосная* метафизика *тварного* сущего св. Максима Исповедника. Последняя схема оказывается наиболее близкой к той схеме, которую мы наметили в главе, посвященной анализу бинарной геометрофизической парадигмы.

Отметим также, что понимание объекта, вещи, как оно выступает в конце работы, оказывается весьма близким к хайдеггеровскому подходу. Основной модус вещи у него состоит, говоря его языком, в ее *веществовании*. Вещь *веществует*, или то, что *веществует*, есть вещь. Это «*веществовать*» означает не просто быть вещью, в обычном понимании, но, прежде всего, *становиться ею*, приобретать статус вещи, отличаясь от вещьобразного нечего, к которому не применим предикат веществования. *Веществование* Хайдеггер производит не только и не столько от понятия *вещи*, но от *оповещения*, от *вече*, древневерхненемецкого *thing*, сохранившегося в английском языке. Вещь есть собрание-откровение, в ней свершается откровение истины — *αληθεια*, несокрытости, выход к наличному пребыванию того, что пребывало в сокрытости. И этот выход к явному происходит не сам по себе, а осуществляется при содействии *многих* (*тетрактида*, *четверица* у Хайдеггера), в наших терминах он есть акт синергии.

Таким образом, картина многомодусной динамической синергийной реальности, к которой мы пришли на основе анализа квантовой механики, не представляется чем-то новым, а имеет свои глубокие философские и метафизические корни. Другое дело, что на протяжении уже многих веков эти идеи не являются доминирующими в культуре. И наука сейчас, которая, собственно, и вызвала к жизни в свое время абсолютно противоположные парадигмы, совсем неожиданно предоставляет нам шанс осуществить поворот — *Keñre* к тем парадигмам бытия и тем концептам, которые, казалось, были поглощены темными водами реки Леты, ушли в забвение — *αληθεια*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акчурина И. А. Концептуальные основания новой — топологической физики // *Философия физики элементарных частиц*. М., 1995.
2. Акчурина И. А., Ахундов М. Д. Эйнштейн и развитие понятия пространства // *Эйнштейн и философские проблемы физики XX века*. М.: Наука, 1979.
3. Антипенко Л. Г. Проблема физической реальности. М.: Наука, 1973.
4. Аристотель. Соч. в 4-х томах. М., 1976.
5. Аршинов В. И. На пути к квантовой эпистемологии // *Проблемы методологии постнеклассической науки*. М., 1992.
6. Аршинов В. И. Проблема интерпретации квантовой механики и теорема Белла // *Теоретическое и эмпирическое в современном физическом познании*. М.: Наука, 1984. С. 213–233.
7. Ахундов М. Д., Баженов Л. Б. Эволюция Вселенной, причинность и нелинейность // *Астрономия и современная картина мира*. М., 1996.
8. Бахтин М. М. Проблемы поэтики Достоевского. М., 1963.
9. Белинский А. В. Физика как притча о квантовых парадоксах // *Христианство и наука*. Сб. докладов VII Межд. Рождественских Образовательных чтений. М., 2000. С. 132–146.
10. Бейль П. Исторический и критический словарь: В 2-х т. М., т. 2, 1968.
11. Белокуров В. В., Тимофеевская О. Д., Хрусталева О. А. Квантовая телепортация — обыкновенное чудо. Ижевск, 2000.
12. Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1966.
13. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. М.: Наука, 1976.
14. Бор Н. Дискуссии с Эйнштейном о теоретико-познавательных проблемах в атомной физике // Сб. Философские проблемы современной науки. М.: Изд-во АН СССР, 1959. (на англ. яз. Albert Einstein: Philosopher-Scientist, N. Y., 1951. P. 201–241).
15. Бор Н. Избранные научные труды. М.: Наука, 1971. Т. 2
16. Борн М. Теория относительности и квантовая теория // *Размышления и воспоминания физика*. М.: Наука, 1977.
17. Бройль Луи де Революция в физике. М.,: 1963.
18. Бройль Луи де Соотношения неопределенностей Гейзенберга и вероятностная интерпретация квантовой механики. М.: Мир, 1986.

19. *Визгин В. П.* Единые теории поля в первой трети XX века. М., 1985.
20. *Визгин В. П.* Этюд времени. Философские исследования. М., 1999, № 3.
21. *Владимиров Ю. С.* Фундаментальная физика и религия. М.: Архимед, 1993.
22. *Владимиров Ю. С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 2. Теория физических взаимодействий. М.: МГУ, 1998.
23. *Гайденко П. П.* Эволюция понятия науки. М., 1980.
24. *Гегель Г.* Соч. М.; Л., 1935.
25. *Гейзенберг Вернер.* Шаги за горизонт. М.: Прогресс, 1987.
26. *Гейзенберг Вернер.* Развитие интерпретации квантовой теории // Нильс Бор и развитие современной физики. М., 1958.
27. *Гоббс Т.* Избр. произведения. В 2-х т. М., 1964.
28. *Гольбах П.* Избранные произведения. В 2-т. М., 1963, т. 1.
29. *Дворкин И.* Существование в призме двух языков // Таргум, 1990. С. 121–127.
30. *Декарт Рене.* Соч. в 2-х томах. М.: Мысль, 1989, т. 1.
31. *Декарт Рене.* Избр. произведения. М., 1950.
32. *Илларионов С. В.* Дискуссия Эйнштейна и Бора // Эйнштейн и философские проблемы физики XX века. М.: Наука, 1979.
33. *Илларионов С. В.* Проблема реальности в современной физике // Теория познания и современная физика. М.: Наука, 1984.
34. *Капра Ф.* Два физики. Киев, София. М.: ИД «Гелиос». 2002.
35. *Келер В.* Научные заметки С. И. Вавилова // Химия и жизнь. М., 1975, № 1.
36. *Клышко Д. Н.* УФН 164, 1187, 1994.
37. *Клышко Д. Н.* УФН 168, 975, 1998.
38. *Ландау Л. Д., Лившиц Е. М.* Квантовая механика. М., 1973.
39. *Лаплас.* Опыт философии вероятностей. М., 1908.
40. *Лосев А. Ф.* Бытие. Имя. Космос. М., 1993.
41. *Лосев А. Ф.* Очерки античного символизма и мифологии. М., 1993.
42. *Лосев А. Ф.* Миф, число, сущность. М.: Мысль, 1994.
43. *Лосев А. Ф.* История античной эстетики. Аристотель и поздняя классика. М., 1975.
44. *Майоров Г. Г.* Формирование средневековой философии. М., 1979; 2-е изд. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ»/URSS, 2009.
45. *Максвелл Джемс К.* Динамическая теория электромагнитного поля // Избр. Соч. по теории электромагнитного поля. М.: Гостехтеориздат, 1954.
46. *Мамчур Е. А.* Квантовая механика и объективность научного знания // 100 лет квантовой теории. История, физика, философия. Труды Международной конференции. М., 2002.
47. *Менский М. Б.* Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов // УФН. Июнь 2000, т. 170, № 6.
48. *Маркув М. А.* О природе физического знания // Вопросы философии, 1947. № 2. С. 140–176.

49. *Мякишев Г. Я.* Динамические и статистические закономерности в физике. М.: Наука, 1973.
50. *Налимов В. В.* В поисках иных смыслов. М., 1993, 262 с.
51. *фон Нейман Дж.* Математические основы квантовой механики. М., 1964.
52. *Омельяновский М. Э.* Философские вопросы квантовой механики. М., 1956.
53. *Омельяновский М. Э.* Диалектика в современной физике. М.: Наука, 1973.
54. *Панченко А. И.* Философия, физика, микромир. М., 1988.
55. *Пахомов Б. Я.* Теорема Белла и интерпретация квантовой механики // Философские исследования оснований квантовой механики. М., 1990. С. 48–57.
56. *Пахомов Б. Я.* Детерминизм, критерии тождества, проблема объективной реальности в квантовой теории // Философия физики элементарных частиц. М., 1995. С. 58–72.
57. *Пенроуз Р.* Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008.
58. *Печенкин А. А.* Удалось ли реабилитировать причинность: Карл Поппер против «редукции волнового пакета» // Причинность и телеономизм в современной естественно-научной парадигме. М.: Наука, 2002.
59. *Платон.* Соч. в 4-х т. М., 1993, т. 2.
60. *Попов П. С., Стяжкин Н. И.* Развитие логических идей от античности до эпохи Возрождения. М., 1974.
61. *Поппер К.* Логика и рост научного знания. М., 1983.
62. *Поппер К.* Квантовая механика и раскол в физике. М., 1998.
63. *Пригожин И.* Конец определенности. Время, хаос и Новые Законы Природы. Москва; Ижевск, 2000.
64. *Рамон П.* Теория поля. М., 1984.
65. *Риман Б.* О гипотезах, лежащих в основании геометрии // Об основаниях геометрии. М., 1956.
66. *Родичев В. И.* Геометрические свойства систем отсчета // Эйнштейновский сборник. 1971. М.: Наука, 1972.
67. *Садбери А.* Квантовая механика и физика элементарных частиц. М.: Мир, 1989.
68. *Сачков Ю. В.* Вопросы обоснования вероятностных методов исследования в физике // Эйнштейн и философские проблемы физики XX века. М.: Наука, 1979.
69. *Севальников А. Ю.* Онтологические трактовки квантовой механики. М., 1997.
70. *Соколов В. В.* Средневековая философия. М., 1979; 3-е изд. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008.
71. *Спиноза Б.* Избр. произведения: В 2-х т. М., 1957.
72. *Степин В. С.* Философская антропология и философия науки. М., 1992.
73. *Степин В. С.* Динамика научного знания как процесс самоорганизации // Самоорганизация и наука: опыт философского осмысления. М., 1994.
74. *Тамм И. Е.* Рецензия на работу Ю. И. Кулакова «Методологическое введение в теорию физических структур» // Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. М.: Архимед, 1992.

75. Уилер Дж. А. Квант и Вселенная // *Астрофизика, кванты и теория относительности*. М., 1982. С. 535–558.
76. *Успехи Физических Наук*. Т. 16. Вып. 4.
77. Фейнман Р. Характер физических законов. М., 1968.
78. Фейнман Р. Пространственно-временной подход к нерелятивистской квантовой механике // *Сб. Вопросы причинности в квантовой механике*. М., 1955. С. 167–207.
79. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 8–9, М., 1978; 4-е изд. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008.
80. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3. М., 1977; 5-е изд. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008.
81. *Философские проблемы современной науки*. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
82. Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики. М., 1957.
83. Фок В. А. Квантовая физика и строение материи // *Структура и формы материи*. М., 1967.
84. Фок В. А. Квантовая физика и философские проблемы. М., 1970.
85. Хайдеггер М. Цолликонеровские семинары // *Логос*, № 3, 1992.
86. Хайдеггер М. *Время и бытие*. М., 1993.
87. Хайдеггер М. *О существе и понятии фюгс*. М., 1995.
88. Холево А. С. Вероятностные и статистические аспекты квантовой теории. М., 1980.
89. Хорган Дж. Квантовая философия // *В мире науки*, № 8–9, 1992.
90. Хоружий С. С. После перерыва. Пути русской философии. М., 1994.
91. Хоружий С. С. Род или недород? // *Вопросы философии*. № 6, 1997. С. 53–68.
92. Хютт В. Рецепция философии М. Хайдеггера в Эстонии. М., 1991.
93. Шредингер Э. Специальная теория относительности и квантовая механика // *Эйнштейновский сборник. 1982–1983*. М.: Наука.
94. Эйнштейн А. *Физика и реальность*. М., 1965.
95. Эйнштейн А. *Собр. научных трудов*. В 4-х т. 1965–1967.
96. Эйнштейн А. Квантовая механика и действительность. *Собр. научн. трудов*. Т. 3. 1966.
97. Эйнштейн А. *Собр. научных трудов*. Т. 2. М., 1966.
98. Юрченко А. К проблеме понятия «субстанция» в картезианской философии. *Философские и Феоологические опыты*. М.: Книга, 1991.
99. Янг Ч., Миллс Р. Сохранение изотопического спина и изотопическая калибровочная инвариантность / *Элементарные частицы и компенсирующие поля*. Под ред. Д. Иваненко. М.: Мир, 1964. С. 28–37.
100. Aspect A., Dalibard J., Roger G // *Phys. Rev. Lett*, 1982, № 2. P. 91.
101. Aspect A., Dalibard J., Roger G // *Phys. Rev. Lett*, 1982. P. 1804.
102. Bell J. S. On the Einstein—Podolsky—Rosen Paradox // *Physics*, 1964. V. 1, № 3. P. 195–200.

103. *Belinskii A. V., Klyshko D. N.* Laser Physics 6, 1082, 1996.
104. *Boehm H.-P.* Der Quantenmechanische Messprozess. Berlin, 1986.
105. *Bohm D., Hiley B.* On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory. Foundations of Physics. Vol. 5, 1975. P. 93–109.
106. *Bub J.* The Interpretation of Quantum Mechanics. Dordrecht-Boston, 1974.
107. *Burlakov A. V., Chekhova M. V., Klyshko D. N., Kulik S. P.* Phys Rev. A56, 3214, 1997.
108. *Cao Tian Yu.* Conceptual development of 20th century field theories. Cambridges, 1997.
109. *Cao Tian Yu.* Conceptual foundations of Quantum Field Theory. Ed. by Cambridge Univ. Press. 1999.
110. *Chiu C. B., Sudarshan E. C. G., Misra B.* // Phys. Rev., 1977, V. D16. P. 520.
111. *Clauser John F, Shimony A.* Bell's Theorem: Experimental Tests and Implications // Reports on Progress in Physics. V. 41, 12. P. 1881–1927. December 1978.
112. *Bell J. S.* On the Einstein—Podolsky—Rosen Paradox. Physics. 1964. V. 1. P. 145–149.
113. *Bohm D.* Wholeness and the Implicate Order, London, 1980.
114. *Bohm D.* A New Theory of the Relationship of Mind and Matter // J. Amer. Soc. Phys. Research, 1986, vol. 80, № 2.
115. *Bohr N.* Atomphysik und menschliche Erkenntnis, Braunschweig, 1966.
116. *D'Espagnat B.* Reality and the Physicist. Cambridge, 1991.
117. *D'Espagnat B.* Use of Inequalities for the experimental test of a general Conception of the Foundation Microphysics // Physical Review, 1975, V. 11, № 6.
118. *D'Espagnat B.* Quantentheorie und Realität // Quantenphilosophie. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl., 1996.
119. *Einstein A., Podolsky B., Rosen N.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete // Physical Review, 47 (1935). P. 777.
120. *Everett H.* Relative State Formulation of Quantum Mechanics // Review of Modern Physics, 1957, vol. 29, № 3. P. 454–462.
121. *Frank Günter.* Gott und Natur. Zur Transformation der Naturphilosophie in Melanchthons humanistischer Philosophie // Melanchthon und die Naturwissenschaften seiner Zeit. Jan Thorbecke Verlag Sigmaringen. Bretten. 1998.
122. *Freedman S. J., Clauser J. F.* Bulletin of American physical society, 1970, Vol. 15, № 2.
123. *Geroch R.* // J. of Math. Ph., 1967, vol. 8. P. 782.
124. *Ghirardi G. C., Rimini A., Weber T.* A general argument against superluminal transmission through the quantum mechanical measurement process. / Lett. Nuovo. Chim. 27 (1980). 293–8.
125. *Harre R.* // Intern. Studies in the Phil. of Science, V. 4. № 2, 1990.
126. *Heidegger M.* Sein und Zeit. Tübingen, 1993.
127. *Heisenberg Werner.* Über quantentheoretische Undeutung kinematischer und mechanischer Beziengen // Zeitschrift der Physik, 33. S. 879, 1925.

128. *Heisenberg Werner*. Physik und Philosophie. Frankfurt. M., 1959.
129. *Heisenberg Werner*. Gesammelte Werke, Bd. 2. München, Zürich, 1984.
130. *Hellmuth T., Walther H., Zajonc A., et al.* // *Phys. Rev.*, 1987, V. A35. № 6. P. 2532–2541.
131. *Herbert N.* Quantenrealität. Basel, Boston, 1987.
132. Historisches Wörterbuch der Philosophie. J. Ritter (Hrs.). BD. 1, Basel; Stuttgart, 1971.
133. Historisches Wörterbuch der Philosophie. J. Ritter (Hrs.). BD. 4, Basel; Stuttgart, 1976.
134. *Horgan John*. Quanten-Philosophie // *Quantenphilosophie*. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl., 1996.
135. *Jourdan P.* Quantenlogik und das Kommutative Gesetz // *The Axiomatic Method with Special Referens to Geometry and Physics. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics.* Amsterdam, 1959.
136. *Kanitscheider B.* Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaft, Berlin, New York, 1981.
137. *Lenk Hans*. Interpretation und Realität. Fr. am Main. 1995.
138. *London F., Bauer E.* La théorie de l'observation en mécanique quantique, dans: *Actualités scientifiques et industrielles*, Hermann, Paris, 1939.
139. *Lochak E.* Has Bell's Inequality a General Meaning for Hidden Variable Theories? // *Foundation of Physics*, 1976, V. 6, № 2. P. 173.
140. *Mermin N. D.* // *J. of Philosophy*, V. 78, 1981. P. 397.
141. *Mishra B., Sudarshan E. C. G.* // *J. Math. Phys.*, 1977, V. 186. P. 756.
142. *Peres A.* // *Amer. J. Phys.*, 1980, V. 48. P. 931.
143. *Primas H.* Verschränkte Systeme und Komplementarität // *Moderne Naturphilosophie*, Würzburg, 1984. S. 243–260.
144. *Reichenbach H.* Philosophic Foundations of Quantum Mechanics. Los-Angelos, 1944.
145. *Schrödinger Erwin*. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik // *Quanten-Philosophie // Quantenphilosophie*. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl., 1996.
146. *Shimony A.* Contextual Hidden Variables Theories and Bell's Inequalities // *Brit. J. Phil. Sci.*, Aberdeen, 1984. 35, № 1.
147. *Singh I., Whitaker M. A. B.* // *Amer. J. Phys.*, Oct. 1982. P. 882.
148. *Stallmach J.* Dynamis und Energie. Meisenheim am Glan, 1959.
149. *Suzuki D.* The Essence of Buddhism. Kyoto, 1068.
150. *Vaidman L.* (1996) «On Schizophrenic Experiences of the Neutron or why we should Believe in the Many-Worlds Interpretation of Quantum Theory», e-print <http://arxiv.org/abs/quant-ph/9609006>.
151. *Vaidman L.* (2002) «The Many-Words Interpretations of Quantum Mechanics», in *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. Zalta (ed.), <http://plato.stanford.edu/qm-manywords/>

152. *Weizsaecker C. F. von* // *Z. Phys.*, 1931, Bd. 70. S. 114.
153. *Weizsaecker C. F. von* // *Z. Phys.*, 1941, Bd. 118. S. 489.
154. *Weizsaecker C. F. von* *The Copenhagen Interpretation* // *Quantum Theorie and Beyond*, Cambridge, 1971.
155. *Wheeler J. A.* // *Foundational problems in the special sciences*. Dordrecht, 1977. P. 27.
156. *Wheeler J. A.* // *Mathematical Foundations of Quantum Theory*, ed. by A. R. Marlow. N.-Y., 1978. P. 9.
157. *Wheeler J. A.* // *Problems in the Foundations of Physics*, Proc. of the Int. School of Phys. «Enrico Fermi», Course LXXII. Amsterdam, 1979. P. 395.
158. *Wheeler J. A.* // *Proc. of the Int. Symp. on Found. of Quant. Mechanics*. Tokyo, 1983. P. 140.

Другие книги нашего издательства:



URSS

Квантовая механика и квантовая теория поля

Фок В. А. Начала квантовой механики.

Фок В. А. Квантовая физика и строение материи.

Фок В. А. Работы по квантовой теории поля.

Бройль Л. де. Введение в волновую механику.

Кемпфер Ф. Основные положения квантовой механики.

Мотт Н., Снеддон И. Волновая механика и ее применения.

Тарасов Л. В. Основы квантовой механики.

Тарасов Л. В. Введение в квантовую оптику.

Грин Х. Матричная квантовая механика.

Галицкий В. М., Карнаков Б. М., Коган В. И. Задачи по квантовой механике. В 2 кн.

Флюге Э. Задачи по квантовой механике. В 2 кн.

Горбачевич А. К. Квантовая механика в общей теории относительности.

Килин С. Я. Квантовая оптика: поля и их детектирование.

Вильф Ф. Ж. Логическая структура квантовой механики.

Эддингтон А. Относительность и кванты.

Ван дер Варден Б. Л. Метод теории групп в квантовой механике.

Бауэр Э. Введение в теорию групп и ее приложения к квантовой физике.

Петрашень М. И., Трифонов Е. Д. Применение теории групп в квантовой механике.

Маслов В. П., Шведов О. Ю. Метод комплексного роста в задаче многих частиц и квантовой теории поля.

Визин В. П. Единые теории поля в квантово-релятивистской революции.

Бриллюэн Л. Квантовая статистика.

Хинчин А. Я. Математические основания квантовой статистики.

Дирак П. А. М. Лекции по квантовой теории поля.

Стояновский А. В. Введение в математические принципы квантовой теории поля.

Серия «Классики науки»

Ньютон И. Математические начала натуральной философии.

Гейзенберг В. Избранные труды.

Сморodinский Я. А. Избранные труды.

Тодхантер И. История математических теорий притяжения и фигуры Земли от Ньютона до Лапласа.

Серия «Из наследия мировой философской мысли: философия науки»

Аристотель. Физика.

Дюгем П. Физическая теория. Ее цель и строение.

Пуанкаре А., Кутюра Л. Математика и философия.

Дриш Г. Витализм. Его история и система.

Кроль Дж. Философская основа эволюции.

Энгельмейер П. К. Теория творчества.

Васильев А. В. Пространство, время, движение.

Ренан Э. Будущее науки.

Франк Ф. Философия науки: Связь между наукой и философией.

Карнап Р. Философские основания физики. Введение в философию науки.

Другие книги нашего издательства:



URSS

Серия «Синергетика: от прошлого к будущему»

Ленроуз Р. **НОВЫЙ УМ КОРОЛЯ. О компьютерах, мышлении и законах физики.** Пер. с англ.

Майнцер К. **Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез.** Пер. с англ.

Хакен Г. **Информация и самоорганизация.** Пер. с англ.

Малинецкий Г. Г. **Математические основы синергетики.**

Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. **Нелинейная динамика и хаос: основные понятия.**

Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., Подлазов А. В. **Нелинейная динамика.**

Малинецкий Г. Г. (ред.) **Будущее России в зеркале синергетики.**

Малинецкий Г. Г. (ред.) **Синергетика: Исследования и технологии.**

Климонтович Ю. Л. **Турбулентное движение и структура хаоса.**

Трубецков Д. И. **Введение в синергетику. В 2 кн.: Колебания и волны; Хаос и структуры.**

Арнольд В. И. **Теория катастроф.**

Быков В. И. **Моделирование критических явлений в химической кинетике.**

Безручко Б. П. и др. **Путь в синергетику. Эскурс в десяти лекциях.**

Данилов Ю. А. **Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение.**

Князева Е. Н., Курдюмов С. П. **Основания синергетики. Кн. 1, 2.**

Анищенко В. С. **Знакомство с нелинейной динамикой.**

Анищенко В. С. **Сложные колебания в простых системах.**

Олемской А. И. **Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория.**

Редько В. Г. **Эволюция, нейронные сети, интеллект.**

Белецкий В. В. **Очерки о движении космических тел.**

Тюкин И. Ю., Терехов В. А. **Адаптация в нелинейных динамических системах.**

Чернавский Д. С. **Синергетика и информация (динамическая теория информации).**

Баранцев Р. Г. **Синергетика в современном естествознании.**

Баранцев Р. Г. и др. **Асимптотическая математика и синергетика.**

Пригожин И., Стенгерс И. **Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени.**

Пригожин И., Стенгерс И. **Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой.**

Пригожин И., Николис Г. **Познание сложного. Введение.**

Пригожин И., Гленсдорф П. **Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций.**

Суздалев И. П. **Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов.**

Тел./факс:

(499) 135-42-46,

(499) 135-42-16,

E-mail:

URSS@URSS.ru

http://URSS.ru

Наши книги можно приобрести в магазинах:

«Библио-Глобус» (м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6. Тел. (495) 625-2457)

«Московский дом книги» (м. Арбатская, ул. Новый Арбат, 8. Тел. (495) 203-8242)

«Молодая гвардия» (м. Полянка, ул. Б. Полянка, 28. Тел. (495) 238-5001, 780-3370)

«Дом научно-технической книги» (Ленинский пр., 40. Тел. (495) 137-6019)

«Дом книги на Ладонской» (м. Бауманская, ул. Ладонская, 8, стр. 1. Тел. 267-0302)

«Геоиз» (м. Университет, 1 гум. корпус МГУ, комн. 141. Тел. (495) 939-4713)

«У Нептуна» (РГТУ) (м. Новослободская, ул. Чайнова, 15. Тел. (499) 973-4301)

«СПб. дом книги» (Невский пр., 28. Тел. (812) 448-2355)

Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Наше издательство специализируется на выпуске научной и учебной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений. Мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.



URSS

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

Шредингер Э. Мой взгляд на мир. Пер. с нем.

Борн М. Моя жизнь и взгляды. Пер. с англ.

Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики.

Гейзенберг В. Часть и целое (беседы вокруг атомной физики).

Бунге М. Философия физики.

Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике.

Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация.

Рейхенбах Г. Философия пространства и времени.

Рейхенбах Г. Направление времени.

Уитроу Дж. Естественная философия времени.

Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени.

Кассирер Э. Теория относительности Эйнштейна.

Вигнер Э. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии.

Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна.

Кузнецов Б. Г. История философии для физиков и математиков.

Кузнецов Б. Г. Ценность познания. Очерки современной теории науки.

Кузнецов Б. Г. Основы теории относительности и квантовой механики в их развитии.

Кузнецов Б. Г. Принцип дополнителности.

Новиков А. С. Философия научного поиска.

Новиков А. С. Научные открытия: Типы, структура, генезис.

Ивин А. А. Философия науки.

Яновская С. А. Методологические проблемы науки.

Гришунин С. И. Философия науки: Основные концепции и проблемы.

Гришунин С. И. Возможна ли современная наука без интуиции.

Попкова Н. В. Философия техносферы.

Попкова Н. В. Антропология техники: Становление.

Минасян Л. А. Иммануил Кант и современная космология.

Минасян Л. А. Единая теория поля. Опыт синергетического осмысления.

Идлис Г. М. Революции в астрономии, космологии и физике.

Хайтун С. Д. Феномен человека на фоне универсальной эволюции.

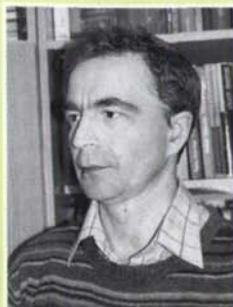
Хайтун С. Д. От эргодической гипотезы к фрактальной картине мира.

Бейтсон Г. Разум и природа: неизбежное единство. Пер. с англ.

Бейтсон Г. Шаги в направлении экологии разума. Кн. 1–3. Пер. с англ.

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:
 тел./факс (499) 135–42–16, 135–42–46
 или электронной почтой URSS@URSS.ru
 Полный каталог изданий представлен
 в интернет-магазине: <http://URSS.ru>

Научная и учебная
литература



Доктор философских наук, ведущий научный сотрудник Института философии РАН, профессор кафедры логики Московского государственного лингвистического университета. В 1986 г. окончил Московский физико-технический институт. С 1992 г. занимается философскими проблемами современного естествознания. Окончил аспирантуру Института философии РАН. В 1995–1996 гг. стажировался в области философии науки и техники в Университете Карлсруэ (Германия). Основные работы А. Ю. Севальникова посвящены философским проблемам современной физики, а также проблеме генезиса современной науки.

Представляем другие книги нашего издательства:



7061 ID 95613

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ

интернет-магазин
OZON.ru

RSS.ru

зданий
те:

RSS.ru



9 785397 007276 >

Тел./факс: 7 (495)

Тел./факс: 7 (495)



24912241

Любые отзывы о настоящем издании, а также обнаруженные опечатки присылайте по адресу URSS@URSS.ru. Ваши замечания и предложения будут учтены и отражены на web-странице этой книги в нашем интернет-магазине <http://URSS.ru>