

## К ВОПРОСУ О НЕПРЕРЫВНОСТИ В ФИЗИКЕ

**А.А.Прокопов.**

Цель работы в рассмотрении природы через объединение двух концепций: континуума и реляционности. В зависимости от того, что ставить вначале, мы: рассматриваем континуум с реляционной точки зрения, или дополняем реляционный взгляд на природу концепцией континуума.

### 1. Введение.

Обе идеи этой работы широко представлены в научной литературе. Мы будем рассматривать их в самом общем смысле. Континуум или непрерывное – фундаментальная, неприводимая математическая абстракция. Реляционность – идея о том, что физика изучает не физические системы, а корреляции физических систем.

Список работ по каждой из тем займет не один десяток страниц. Тем не менее, научное осмысление, как континуума, так и реляционности не лишено вопросов. Проблему с континуумом можно назвать «проблемой входа»: его сложно формализовать в языке. Проблема с реляционностью обратного свойства, это «проблема выхода»: мы имеем доступ к феноменам, но не к ноуменам, мы заперты в корреляционном круге. С вопросами реляционности можно ознакомиться, например, здесь [1], [2], континуума [3], [4].

### 2. Абстрактное.

В качестве предпосылки к этой работе можно рассматривать факт присутствия в физических теориях континуума, называемого физическим пространством, трехмерной пустоты. Пространство может входить в теорию непосредственно или в составе динамического многообразия. В обоих случаях оно постулируется: мы не знаем экспериментов, прямым образом подтверждающих существования трехмерного пространства. Мы «догадались» что оно существует по косвенным признакам, таким как орбиты планет, скорости убывания сил и прочим. Пространство не осязаемо, и если мы назовем его идеальным или «абстракцией», это не будет ничему противоречить. Эта абстракция фундаментальна: трехмерный континуум физического пространства не является континуумом «чего то», он невыводим из чего-то более глубокого.

Трехмерное пространство само по себе, ничем особенным не выделено, но оно входит в выделенный класс пространств низкой размерности или геометрических пространств. Этот класс включает пространства размерности три, два и один. Нульмерное - не континуум, пространства большей размерности являются алгебраическими. Рассмотрим два других пространства так же, как мы «ощущаем» трехмерное – изнутри. Этот взгляд так же соответствует представлению о континууме, как о первичной, фундаментальной сущности: у нас нет никакого «снаружи». Формализуем такое представление в терминах поворотов и перестановок:

- в 3d у нас есть только повороты, группа трехмерных поворотов;
- в 2d у нас есть как двумерные повороты, так и перестановка: мы можем поменять «верх» и «низ» местами;
- в 1d у нас есть только перестановка, мы можем поменять «право» и «лево» местами.

Повороты несут непрерывную информацию, перестановки дискретную. В нашей непрерывной истории появилась дискретность: перестановочные элементы можно пересчитать. Оформим это представление в таблицу (1).

3d	Повороты	Непрерывность
2d	Повороты + Перестановки	Непрерывность + Дискретность
1d	Перестановки	Дискретность

Таблица 1. Вид изнутри на геометрические пространства.

Эрвин Шредингер называл нашу «беспомощность перед лицом континуума» «крестной матерью науки» [5]. Осмысление континуума, выражение его в языке, трудно и далеко от завершения. Доказательства того, что мы понимаем континуум, отсутствуют. Континуум, в отличие от чисел, существовал задолго до появления математики. Необходимо освоить довольно большой понятийный аппарат, что бы только подступиться к

топологии. Разработка топологической теории размерности спотыкается на определении понятия «размерность». Топология пользуется языком теории множеств, несмотря на статус континуум-гипотезы (CH) и в целом, совсем не понятно, почему континуум должен быть «множеством чего то».

Таб. 1 представляет некоторый способ смотреть на континуум, который соответствует подходу этой работы. Наш подход, если он верен, предполагает, что мы увидим проявления самых фундаментальных физических сущностей: мы стартовали с начального элемента. Так же, мы можем ожидать что, как в случае с трехмерным пространством, физика даст нам только косвенные подтверждения существования пространств: континуум – начальная, ненаблюдаемая, абстрактная сущность, тогда как наблюдаем мы корреляции, и само наблюдение – корреляция. Далее мы рассмотрим некоторые феномены физики через призму Таб. 1.

### 3.1 Одномерное пространство. Электрический заряд.

Электрический заряд квантован: электрический заряд любой физической системы всегда кратен элементарному. Мы наблюдаем строго два вида электрических зарядов. Электрический заряд это точечное свойство, у него нет размера, что соответствует сечению одномерного пространства. Зарядовая симметрия в природе строго сохраняется, вселенная электрически нейтральна, и если делить одномерный объект, то в результате каждого деления мы будем получать два фрагмента, и их количество будет строго равным. Сила, с которой заряды различных типов взаимодействуют с окружением, одинакова для зарядов обоих типов. Различие состоит в том, что в парах заряды одного типа реагируют друг на друга иначе, чем заряды различных типов. И по нашему представлению, когда мы находимся внутри одномерного пространства, мы видим два различных направления, которые ничем друг от друга не отличаются, кроме того что они различны. *Электрический заряд это свойство порожденное одномерным пространством.*

### 3.2 Двумерное пространство. Спин.

Как видно из названия, спин, исторически предполагался как свойство частицы, отражающее ее вращение. Дальнейшие исследования показали, что спин не связан ни с вращательным движением, ни с движением вообще. Тем не мене, отметим, что вращение в некотором смысле «двумерно»: движения вдоль оси вращения не происходит, и аргументы исключающие вращение как свойство спина, не исключают эту двухмерность. Если мы измерим спин электрона, например, в эксперименте типа Штерна-Герлаха, то мы найдем его в одном из двух состояний: «спин вверх» или «спин вниз». Эти «верх» и «низ» определены по магнитному полю. Спины не «чувствуют» трехмерного пространства. Измерение проекции спина электрона на некоторую пространственную ось в общем случае покажет случайный результат.

Двузначность спина качественно иная, чем у заряда. Спин это не точка, он «выглядит» как фрагмент поверхности. Существование спина ограничивает возможные состояния квантовых систем строго двумя типами: симметричное бозонное и антисимметричное фермионное, что соответствует двум типам квантовой статистики. Мы никогда не наблюдаем несимметричных состояний, а симметрия гамильтониана гарантирует, что если частица находится в состоянии определенной симметрии, то она останется в состояниях этой симметрии. Фермионы соответствуют объектам включающим одну поверхность двумерного пространства, а бозоны – объектам включающим обе поверхности. Нормальным, основным состоянием в нашем представлении является бозонное, соответствующее двумерному двустороннему пространству. Для вакуума характерно бозонное состояние и нулевое магнитное поле. Фермионы представляют некоторый дефект, половину целого. Этот дефект проявляет двухмерность в форме магнитного поля, которое характеризуется ортогональностью, выделением противоположных направлений. Для фермионов характерно образовывать пары. *Спин это свойство порожденное двумерным пространством.*

### 3.3 Трехмерное пространство. Масса.

Единственным не квантовым свойством частиц является масса, и в нашем списке из трех пространств есть только одна строка в которой отсутствуют дискретные характеристики. Масса это заряд одного типа, она только притягивает. И у нас в этой строке один символ. Масса всегда занимает объем в трехмерном пространстве, если попытаться сжать ее в точку, то в какой-то момент она схлопнется в сингулярность.

Общая теория относительности говорит нам о том, что масса самым тесным образом связана с пространством. Масса главный игрок в классической, не квантовой физике, где она в виде макроскопических тел движется по своим траекториям. Траектория – хорошо определенное понятие в трехмерном пространстве. В Стандартной модели физики частиц за генерацию затравочных масс отвечает поле Хиггса. Оно присутствует в пространстве само по себе, неотделимо от пустого трехмерного пространства. Поле Хиггса особенно тем, что имеет ненулевое среднее значение по всему пространству. Квант поля Хиггса единственная скалярная элементарная частица стандартной модели. *Масса это свойство порожденное трехмерным пространством.*

### 3.4 Двумерное пространство. Сейчас.

Обыденный смысл термина «сейчас» или «теперь» или «настоящее время» понятен каждому, у нас нет затруднений с использованием этого слова в повседневности. Нетрудно сделать предсказание о том, что сейчас вы читаете слово Сейчас. Если что-то происходит, оно всегда происходит сейчас и это соответствует здравому смыслу.

Всё сущее, вся физическая реальность имеет свойство быть «сейчас». Что бы мы ни делали, куда бы ни двигались, с чем бы ни сталкивались – это всё имеет свойство «быть сейчас». Мы не видим звезд, мы регистрируем уничтожение фотонов. Но, несмотря на эту тотальность «сейчас», оно так же тотально отсутствует в физике. «Сейчас» не наблюдаемо.

Физика оперирует понятием «время». Время задает темпорологическое отношение порядка. «Сейчас» рассматривается как нечто между прошлым и будущим. Время – одно из самых важных понятий физики, оно тесным образом связано с энергией. Однородности времени соответствует закон сохранения энергии. Энергия это инвариант, сохраняющаяся величина. Но каждый раз, когда мы измеряем количество полной энергии в замкнутой системе, мы делаем это в некотором «сейчас». И то, что мы регистрируем сохранение энергии, означает, что вся энергия системы полностью находится в этом Сейчас: ее не осталось в прошлом, и она не утдела в будущее. Энергия сохраняется в силу существования физического Сейчас.

Сейчас так же всеобъемлюще тотально, как и трехмерное пространство, но эта тотальность иного рода. В настоящем мы как бы «зажаты», в нем есть элемент нулевого размера, но кроме этой зажатости в мгновении – у нас имеется полная и непрерывная свобода действий. Мы не боимся выпасть из этого мгновения.

С феноменом «сейчас» связано понятие «одновременности». Если мы находимся в некотором общем Сейчас, мы каким-то образом должны наблюдать одновременность происходящего. В нашем повседневном опыте так и происходит, мы все существуем одновременно. Такое положение существовало и в физике вплоть до открытия специальной теории относительности. Одним из следствий СТО была относительность одновременности, невозможность различных наблюдателей договориться о том, какие события считать одновременными. Это следствие зачастую трактовалось как свойство природы в целом: какой смысл говорить об одновременности, если она не наблюдаема? Новое видение этого вопроса предложили эксперименты по наблюдению квантовой запутанности. Наблюдаемые корреляции далеко разделенных в пространстве фотонов происходят мгновенно, в общем Сейчас. И свойством, которое «запутывается» выступает именно спин, определенный нами как свойство, порожденное двумерным пространством. Представление о настоящем как о макроскопическом проявлении двумерного пространства коррелирует с его микроскопическим представлением в виде спина через феномен запутанности.

*«Сейчас» это то, как мы наблюдаем двумерное пространство изнутри.*

#### 4. Модель.

Выпишем наши рассуждения в форме таблицы.

	Абстрактное		Физическое	
	Размерность	Вид изнутри	Корреляты материи	Вид от первого лица
Пространства	3d	$\infty$	Масса	Физическое пространство
	2d	$1\infty 1$	Спин, Магнетизм	Сейчас
	1d	1 1	Электрический Заряд	

Таблица 2. Категоризация феноменов природы по базису порождающих пространств.

Таблица 2 отражает ключевую идею этой работы: в основе реальности лежит континуум, непрерывность, пустота, трех типов. Мы взяли континуум, как начальное условие, определили способ его рассмотрения, и увидели проявления основных натурфилософских категорий: пространства, времени и материи.

Мы не противоречим физическому описанию природы. Так получилось, что физика не определяет генезис рассмотренных нами сущностей. Эта работа может рассматриваться как дополнение реляционной, количественной, динамической картины физики внекорреляционным, качественным, преддинамическим представлением.

#### 5. Корреляции.

Идея реляционности (релятивизма, относительности, корреляционизма и т.п.) доминирует в современном естествознании. Она заключается в том, что наука не открывает нам природу вещей, она открывает нам природу отношений. Бессмысленно говорить о некоторой физической системе  $S$ , мы никогда не имеем дело с такими сущностями. То с чем мы имеем дело, это всегда связка систем:  $S-S'$ . Относительность Галилея, Эйнштейна, суть эксперимента, наблюдения, измерения, взаимодействия – все это и многое другое включают реляционность. В основе современной философской картины лежит идея, согласно которой мы можем иметь доступ только к корреляции между мышлением и бытием, но никогда к чему-то из них в отдельности [6]. Реляционность в естествознании выросла сама, вопреки нашему стремлению к объективности.

В этой работе мы помещаем внутрь корреляционного круга материю. Мы утверждаем, что материя является корреляцией фундаментальных пространств. Третий столбец таб. 2 отражает корреляционные свойства: мы не наблюдаем массу, заряд или спин в обособленном виде, эти свойства всегда присутствуют в комбинации, которую мы и называем частицами. О корреляционной природе частиц говорят различные «превращения» частиц. Другим типом корреляции является то, что называют вакуумом.

Самым «мощным» пространством в нашем представлении (столбец 2) является двумерное, оно включает как дискретные, так и непрерывные наблюдаемые свойства. Двумерное пространство может служить границей, разрывом для двух других. Природа отражает это свойство: мы знаем о незаряженных и безмассовых частицах, но мы никогда не наблюдали частиц без спина. В координатно-метрическом представлении иерархия пространств по уровню сложности выглядит как  $1d < 2d < 3d$ , в нашем представлении  $3d < 1d < 2d$  (это не значит, что сами пространства включают числа или транзитивность).

Корреляции выстраиваются в иерархию. Организм можно представить как корреляцию молекул, молекулу как корреляцию химических элементов и т.п. В такой ситуации, часть корреляций представляются вторичными, то есть являются корреляциями корреляций. Эту работу можно рассматривать как ответ на вопрос: «Что, в конечном итоге, коррелирует?». Это позволяет выделить первичные корреляции.

## 6. Эпистемический предел. Информация.

Вопросы информации и пределов знания активно обсуждаются в теме основ квантовой механики. В рамках КМ мы не можем говорить о «полном описании объекта». Отличительной чертой квантового поведения является невозможность совместного измерения дополнительных наблюдаемых. Так же мы не можем утверждать, что измеряемое свойство существует до измерения. Приведем цитату Антона Цайлингера о двухщелевом эксперименте: «Суперпозиция амплитуд имеет место только в том случае, если нет способа узнать, даже в принципе, какой путь выбрала частица. Важно понимать, что это не означает, что наблюдатель активно следит за происходящим. Для разрушения интерференционной картины достаточно, если информация о пути в принципе доступна из условий эксперимента или даже если она рассредоточена в окружающей среде без всякой технической возможности быть восстановленной, но в принципе все еще «где-то там». Отсутствие любой такой информации является важнейшим критерием появления квантовой интерференции» [7, перевод мой]. Наблюдение (корреляция) и суперпозиция (отсутствие корреляции) – взаимоисключающие сущности.

Электромагнетизм можно определить как корреляцию электричества и магнетизма, или корреляцию одномерного и двумерного пространств. Оба этих пространства легко представить в виде волны. Рассмотрим самую квантовую частицу, единичную корреляцию электричества и магнетизма – фотон. Мы никогда не наблюдали фотонов, мы регистрируем последствия его рождения/уничтожения. Фотон для нас – абстракция, самое удачное описание экспериментальных фактов. Его не догнать. Он не имеет массы. Его локализация в трехмерном пространстве не определена. Ему соответствует нулевой пространственно-временной интервал. Фотон – первичная корреляция. Он существует как «диалог» двумерного и одномерного пространств. Любое вмешательство в этот процесс приведет к тому, что он перестанет быть диалогом.

Объем и тип информации, которую мы можем получить от физической системы, ограничен. Если мы «зададим вопрос» электронному спину о его ориентации в трехмерном пространстве, он не сможет на него ответить. Спин не знает что такое «трехмерность», у него нет такой информации. В результате измерения мы всегда получим или «спин вверх» или «спин вниз» относительно магнитного поля.

Отличие классической от квантовой физики в том, что первая описывает вторичные корреляции, а вторая – первичные. Мы не наблюдаем Луну в состоянии суперпозиции, так как она уже существует как корреляция корреляций. Ей не нужен наблюдатель, что бы существовать: её части наблюдают другие её части. Наблюдение нами Луны ничего не прибавит и не отнимет, чего нельзя сказать, например, о фотоне или бозе-конденсате: фотон исчезнет, конденсат испарится. Самым неоднозначным элементом в мысленном эксперименте с кошкой является коробка. Каким образом она должна быть сделана, что бы количество исходящей из неё информации было равно нулю? Для фотона или атома такой проблемы нет – они не «разбрасываются» информацией.

Через понятие «информация» формулируются вопросы об эпистемической границе: У нас есть прямой информационный доступ к феноменам, но не к ноуменам. Или: информацию о конкретном мы получаем иначе, чем информацию об абстрактном. Один из самых старых, известных еще Гераклиту, вопросов естествознания можно сформулировать так: Если в основании природы лежат некие фундаментальные сущности, то почему мы не наблюдаем их явным образом? Реляционный ответ напрашивается: эти сущности выпадают из корреляционного круга. Естественный кандидат на роль такой сущности появляется вместе с предположением о том, что природа с чего-то началась, что она имеет логическое начало, начальный элемент, начальное условие. Если природа началась с чего-то, то этому «чему-то» еще не с чем коррелировать: оно одно. С этой точки зрения, вопрос о том «Что, в конечном итоге, коррелирует?», это вопрос о начальных условиях. Континуум нередуцируем, он начался.

Эта работа поддерживает эпистемические интерпретации КМ. Можно отметить Реляционную квантовую механику, информационные интерпретации, QBism [8]. Эпистемический подход не обязательно предполагает онтологию, определяющую знание агента. Но этот вопрос никуда не исчезает. Современная физика не однозначна в отношении онтологии: поля, частицы, волны, волны вероятности. Эту работу можно рассматривать как онтическое дополнение к эпистемическому подходу.

Понятие «информация», помимо коммуникационной составляющей, несет так же сущностную нагрузку. Информация есть там, где есть баланс различия и неразличимости. Уберите первое и получите ничто, уберите второе – получите хаос. Информация исчезнет в обоих случаях. Классический бит обладает этим свойством: единица неотличима от единицы и отлична от нуля. Наши пространства так же его несут: они тождественны себе и различны друг другу.

## 7. Неразличимость.

Вопрос об эффективности математики в описании природы это вопрос о наличии в ней неразличимого. Неразличимость - свойство абстрактного. Математика - изучение неразличимых.

О неразличимости нам говорят законы природы. В том, как тела падают на землю, есть некая неразличимость, и она может быть выражена в виде физического закона. Симметрия – ключевое понятие современной физики. Симметрии говорят нам о том, что остается неразличимым при изменениях. Мы можем говорить о неразличимости направлений в пространстве, неразличимости полной энергии замкнутой системы, неразличимости тождественных частиц, неразличимости вакуумного состояния, неразличимости покоя и равномерного движения, неразличимости ощущения гравитации и ускорения и т.п. Симметрия – контекстно-зависимое понятие[9], эта работа о таком контексте.

Реляционная реальность предполагает вид от первого лица. Нет никакого «взгляда из ниоткуда». Специальная теория относительности постулирует существование систем отсчета. СО равноправны, но что бы получить осмысленные результаты в рамках СТО, нам нужно выбрать СО. Физика говорит нам о неразличимом относительно выбора системы отсчета.

Квантовая механика математически представляет собой исчисление вероятностей, исчисление меры случайности. Вопрос о том, каким образом случайность входит в КМ является одним из главных вопросов её интерпретации. Если мы добавим к неразличимости «выбор», мы получим случайность автоматически. Выбор из неразличимых предсказуемо случаен.

## 8. Выбор.

Вопросы выбора обсуждаются в математике в форме аксиомы (АС). Аксиома выбора была явно сформулирована гораздо позже того, как стала использоваться. АС что-то говорит о субъекте, и ничего о множестве. АС как и СН не зависима от систем типа ZF. Обратное не верно, аксиомы следует выбрать. Сложности с применением АС появляются в том случае, когда нельзя явно указать функцию выбора. Когда такая функция существует – выбор получается детерминированным. Например, выбирается экстремальное значение некоторой функции. Иная ситуация сложится, если, например, выбирать точку на прямой или сфере. Этот выбор будет случайным.

Понятие «корреляция» включает выбор: случилась корреляция системы А с системой В, Система С в корреляции не участвовала. Другими словами: выбор А пал на В, выбор В пал на А, система С в выборе не участвовала. В КМ мы вынуждены выбирать наблюдаемую, выбирать способ корреляции с квантовой системой, определяя тип информации, которую хотим получить.

Не существует какой то выделенной ориентации двумерного пространства относительно трехмерного, но она может быть выбрана. Рассмотрим цепочку из двух аппаратов Штерна-Герлаха. Во вторую входит один из пучков, выходящих из первой, и она повернута относительно первой на девяносто градусов. Пусть первая установка будет ориентирована по оси Х, вторая будет на выходе верхнего пучка и ориентирована по оси У. Выбрав такой эксперимент, мы обрежем спин электрона на выбор из двух неразличимых вариантов, и на выходе получим случайное распределение. Поворачивая установку, мы изменим степень неразличимости выбора для спина, и предсказание его поведения может быть выражено в терминах вероятностей, что и делает с успехом квантовая механика. До подготовки, спин электрона находился в суперпозиции состояний. Состояния суперпозиции говорят о том, что природа ленива в выборе. Двухщелевой эксперимент показывает, что природа не делает выбор там, где можно не выбирать.

Такие понятия как «выбор», «информация», «вероятность» зависимы от контекста, и несут оттенок субъективности. Нас это не должно беспокоить – мы начали от первого лица. Близким к «субъекту»

понятием является «агент». Агент отличен от своего окружения. Агент интерактивен, он коррелирует с другими агентами. Агенты равноправны. Агенту приписывают действия, намерения, причины, интенцию, миссию, цель, смысл или что-то подобное. У нас, сложных агентов, много «агентских» терминов. Буридановых ослов не бывает не потому что им доступен случайный выбор. Ослам свойственно питаться. Агенты участвуют в процессе. Наиболее общий процесс можно продемонстрировать, оттолкнувшись от выбора из двух электрических зарядов.

## 9. Процесс.

Если сделать выбор между двумя электрическими зарядами, или двумя одномерными полупространствами, то этот выбор будет случаен в силу их неразличимости. В окружающей нас вселенной этот выбор сделан: отрицательный заряд характерен для лептонов, положительный для барионов. Этот выбор формулируют в форме вопроса о существовании материи или барионной асимметрии вселенной.

Вселенная растет, и количество энергии увеличивается с расширением. Энергия не сохраняется в масштабах вселенной. Что станет с системой, которая ведет себя как горшочек каши из известной сказки? Есть две очевидных опции: увеличивать объем или уплотнять количество энергии на единицу объема. Вселенная использует обе. Первая: вакуум полон энергии плюс вселенная растет. Второе: энергия плотно упакована в компактных островках материи. Жизнь, живое в целом, делает на химическом уровне то же что и материя: аккумулирует, упаковывает энергию в форме высокоэнергетических химических связей. Материя калибрует расширение. Необходимый ингредиент для такой системы – тот, с которого мы начали: абстрактное как источник – неисчерпаем.

## 10. Обсуждение.

Если идеи этой работе верны, то критический эксперимент невозможен по построению. Реляционная реальность с абстрактной онтологией ограничивает возможности эксперимента. Эксперимент заперт в реляционной клетке, как мы заперты в клетке языка. Эту работу можно считать перечислением косвенных свидетельств. Перечень далеко не полон, можно вспомнить, например, квантовую запутанность, отсутствие магнитных монополей или трехмерную плоскостность вселенной.

Мы лишь коснулись целых пластов знаний из областей физики, математики, философии которые невозможно охватить в рамках компактной статьи. Ключевая идея этой работы в целом проста и я пытался изложить её соответствующе. Моя цель была в том, что бы обозначить концептуальный каркас, определить подход, способ смотреть на природу, а так же предложить некоторый, весьма условный, набор тем для обсуждения.

## Библиографические ссылки.

1. Rovelli C. (1996) Relational Quantum Mechanics. *International Journal of Theoretical Physics* 35.8: 1637–1678. Crossref. Web.
2. Martin-Dussaud, P. (2021) Relational Structures of Fundamental Theories. *Found Phys* 51, 24.
3. Baez J.C. (2020), Struggles with the Continuum. [arXiv.org > math-ph > arXiv:1609.01421](https://arxiv.org/abs/1609.01421).
4. Tong D. (2011), Physics and the Integers. [https://fqxi.org/community/forum/topic/897#post\\_30914](https://fqxi.org/community/forum/topic/897#post_30914)
5. Шрёдингер Э. (1951), “Наука и гуманизм”. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 63 с.
6. Мейясу К. (2015), После конечности: эссе о необходимости контингентности. / пер. с фр. Л. Медведевой, науч. ред. П. Хановой. Екатеринбург; Москва: Кабинетный ученый.
7. Zeilinger A. (1999), Experiment and the Foundations of Quantum Physics. In: Bederson B. (eds) *More Things in Heaven and Earth*. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1512-7\\_30](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1512-7_30)
8. Fuchs C.A. (2017) On Participatory Realism. In: Durham I., Rickles D. (eds) *Information and Interaction. The Frontiers Collection*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-43760-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-43760-6_7).
9. van Fraassen, B.C. (2006), «Structure: Its shadow and substance». *British Journal for the Philosophy of Science*, 57, 275–307.