

ЗАМЕТКИ О ФИЗИКЕ

<http://unism.pjwb.org>

<http://unism.pjwb.net>

<http://unism.narod.ru>

Разрозненные тексты, написанные в 1983–2007 годах пытаются осмыслить развитие физики с позиций унизма. Без особой последовательности — по ходу форматирования черновиков к публикации на сайте. Предпочтение кратким запискам общеполитического характера. Слишком технические тексты с формулами и расчетами намеренно опускаются.

О виртуальности

В двадцатом веке локальные квантовые теории поля преобладали в физике высоких энергий. Каждая из них постулировала какие-то симметрии и конструировала ковариантный лагранжиан, из которого по принципу наименьшего действия выводились все возможные в данной модели физические эффекты. Поначалу модельные формы для действия пытались использовать для получения уравнений движения в явном виде, так что в простейших случаях оказывалось возможным выписать точные решения и на их основе делать далеко идущие качественные выводы. Однако многочастичные уравнения почти никогда не поддаются точному интегрированию, и для практических целей требуются упрощающие жизнь условности. Во всех областях квантовой науки, от атомной физики до квантовой гравитации, предложены десятки приближенных подходов. Некоторые из них включают феноменологические поправки; другие предполагают постепенное приближение к результату в рамках «строгой» теории. Стандартный прием — разбиение полного действия на две части, одна из которых описывает достаточно простую и хорошо изученную физическую систему, тогда как любые дополнительные связи упакованы в некоторое «возмущение» исходной системы, предположительно не настолько сильное, чтобы качественно изменить физику «нулевого приближения». В этом случае оказывается возможным представить характеристики движения «возмущенной» системы в виде степенного ряда: в первом порядке возмущение напрямую связывает части базовой системы, во втором и последующих порядках учитываются косвенные и опосредованные взаимодействия. Когда додумались до графического представления рядов теории возмущений, физики увлеклись комбинированием «элементарных» актов взаимодействия: зачем нужны уравнения движения, когда приближенные решения любого уровня прекрасно получаются и без них? Главной задачей теоретика стало вычисление, постепенный переход к диаграммам высшего порядка; изучение сильно связанных систем, где нельзя отделить нулевое приближение от возмущения, отошло на второй план.

Но за простоту и элегантность приходится платить.

Во многих случаях ряды теории возмущений решительно отказываются сходиться; бесконечности вылезают во всех порядках кроме первого. Для большинства фундаментальных взаимодействий возмущение никак не может считаться малым — так что формально построенные разложения годятся разве что в качестве асимптотических. Инфракрасные и ультрафиолетовые расходимости преследуют квантовую теорию поля с самого начала; чтобы как-то выпутаться из трудностей и получить-таки что-нибудь измеримое, изобретательные физики напридумывали множество формальных трюков. Например, научились перетасовывать ряды вплоть до определенного порядка так, чтобы все бесконечности спихнуть в высшие порядки — это называется перенормировкой, и теория возмущения теперь дополнена теорией перенормировки, с ренормгруппой, построенной по образцу и подобию физических симметрий. «Хорошая» теория должна быть не только ковариантной, но и перенормируемой в каждом конечном порядке. Таков он, современный критерий физического смысла!

Далее, за долгие годы физики настолько привыкли считать метод последовательных приближений единственно возможным подходом к описанию физической реальности, что даже мысль о возможности качественно новых парадигм не приходит им в голову: любые явления стремятся впихнуть в проверенные пертурбативные схемы, математические трюки вытеснили собственно физические соображения — и многие физики считают именно эти искусственные конструкции физикой дела, единственно истинной картиной бытия. Так в науку проникла, и надолго в ней закрепилась, идея виртуальных частиц.

В каждом порядке теории возмущений, амплитуда перехода (или иная подходящая величина, вроде S -матрицы, K -матрицы, пропагаторов, операторов эволюции, матрицы плотности и т. д.) формально выглядит как суперпозиция всевозможных переходов из начального состояния в конечное через последовательность промежуточных состояний, которые возмущение эффективно увязывает одно с другим («интерференция»). В промежуточных состояниях система не обязательно имеет ту же энергию (или какие-то еще квантовые числа), как в начале или в конце. Поэтому *физическими* считаются только начальное (приготовленное) и конечное (наблюдаемое) состояние — у них правильная симметрия и все законы сохранения честно соблюдены. Нарушающие правила промежуточные состояния — принципиально не наблюдаемы, *виртуальны*. Например, в атомном рассеянии, состояние непрерывного спектра системы мишень + частица обнаруживает сложную резонансную структуру, которую мы объясняем формированием виртуальных связанных состояний «вложенных» в континуум. С точки зрения теории возмущений это выглядит как временное (с нарушением закона сохранения энергии) объединение исходных частиц в одну составную, которая быстро распадается на те же самые или какие-то еще (разрешенные законами сохранения) частицы. Таким образом, по ходу рассеяния количество частиц может (хотя и не обязано) меняться, а в итоге остаются только «физические» варианты. В квантовой теории поля тот же подход в применении к калибровочным полям (начиная с электромагнитного, в квантовой электродинамике) приводит к живописной картине физического вакуума как моря виртуальных (массивных и безмассовых) частиц, на каждом шагу рождающихся, чтобы тут же исчезнуть, раствориться в пустоте. Понятно, что такое возникновение «из ничего», и превращение «в ничто», весьма импонирует проповедникам философского идеализма и открыто религиозным проповедникам: между актами спонтанного исчезновения и появления легко разместить любое количество мистики. Кажущееся нарушение законов сохранения при рождении виртуальных частиц можно запросто приписать прямому вмешательству божества, или какой-то иной самосушей абстракции.

Но если вдуматься, в рамках теории возмущений виртуальные частицы — вовсе не то же самое, что физические тела или поля; это всего лишь артефакт особым образом организованных вычислений. Да, такие представления полезны для описания сложных физических систем, поскольку через это мы приходим к практически приемлемым результатам. Однако те же результаты могут, по крайней мере в принципе, быть получены и другими методами. Как известно, теория возмущений предполагает суммирование (интегрирование) по промежуточным состояниям; предполагается, что такие состояния образуют полную систему. Но для такого суммирования можно всегда выбрать другой базис — лишь бы соблюдалось требование полноты. На результатах суммирования такая замена не отразится. Формально-математические приемы, позволяют, в частности, перейти от непрерывного спектра промежуточных состояний к дискретному набору (штурмовский базис) — такие промежуточные состояния вообще нельзя связать с какими-либо физическими полями и частицами. Ясно, что не следует слишком доверять прямолинейной интерпретации рядов теории возмущений в терминах виртуальной реальности. Это, скорее, метафора, способ визуализации абстрактной математики с целью подключения к делу человеческой интуиции — однако к физической реальности такие наглядные модели могут иметь не больше отношения, чем громоздкие комбинации стержней и колес, которыми в свое время Максвелл иллюстрировал новую теорию электромагнетизма.

Непосредственным интегрированием уравнений движения можно получить ту же сложную структуру, но уже без каких-либо предположений о виртуальных процессах. Такой

подход весьма привлекателен с физической точки зрения, и его широко используют в атомной и молекулярной физике (так называемая модель с сильной связью, *close coupling*). К сожалению, в каких-то случаях о получении уравнений движения и говорить не приходится, а иногда даже имеющиеся уравнения для многочастичных систем с переменным количеством частиц мало пригодны для прямых расчетов. Роль теории возмущений как вычислительного инструмента (не обязательно претендующего на физические объяснения) здесь трудно переоценить.

Даже если считать представление о виртуальных частицах как самостоятельных сущностях не слишком физическим, адекватное объяснение образования сложных структур в спектрах физических систем связано с фундаментальной идеей *коллективного эффекта*. Все знают, что динамика нелинейных сред часто порождает относительно устойчивые образования (фононы, солитоны и т. д.), которые все же со временем распадаются. С этой точки зрения спектральные резонансы в квантовой физике представляются квазистабильными модами коллективного движения в многочастичных системах. Внешне такие движения могут напоминать частицы или состояния — но сходство никогда не будет полным. Квантовые состояния определены для системы в целом, они эволюционируют как целое. Однако в какие-то моменты, на протяжении ограниченного времени то или иное состояние оказывается подобным набору относительно слабо связанных частиц. Если время жизни таких динамических образований много меньше характерных времен эволюции всей системы, вполне возможно говорить о виртуальных частицах. Пока внешние поля слабы по сравнению с внутренними взаимодействиями в системе, они не обладают достаточным разрешением, чтобы наблюдать отдельные виртуальные структуры; все, что мы видим — это их совместное действие, набор резонансов. Сильные поля могут разрушить виртуальные структуры, превратить их в нечто наблюдаемое; коллективность динамики при этом неизбежно утрачивается. В качестве иллюстрации можно взять просто воду в кране: каплеподобная выпуклость может колебаться, менять размер и форму в течение некоторого времени, оставаясь связанной с остальной массой воды, пока сила тяжести или механический толчок не завершит отделение капли, которая далее уже движется как самостоятельное тело. В этом смысле можно говорить о виртуальных частицах как *незавершенных* структурах, или квазиструктурах. Очевидно, их незавершенность определена отношением к целому: виртуальные структуры — это всегда *подструктуры* чего-то еще, с более полным набором связей. В физике мы часто имеем дело с абстрактными почти закрытыми структурами, которые можно считать практически завершенными и устойчивыми. Тогда уже их подструктуры оказываются, вообще говоря, виртуальными — в физическом смысле, независимо от формального описания. На этом уровне реальные и виртуальные образования хорошо отделены друг от друга. Однако, в более широком контексте, легко видеть, что всякая структура вообще принадлежит одному и тому же, общему для всех миру, — а потому все что угодно может оказаться в каких-то отношениях виртуальным — если мы занимаемся этим в пределах ограниченной практической задачи, а не в масштабах Вселенной.

13 февраля 2007

Отзвуки Типлера

По поводу космологических метафор было много околонучных дискуссий. Например, о предложенной Франком Типлером концепции жизни в сжимающейся Вселенной, вблизи *точки Омега*. Оставляя в стороны досужие фантазии о богах и воскрешении из мертвых, можно все же задаться вопросом: а есть ли за этой дурной шумихой действительные проблемы? — не скрывается ли за этим предчувствие чего-то разумного, чему пока просто не нашли более достойной формулировки?

Насколько я могу судить, главный источник туманных спекуляций — некритически физикалистский подход к исследованию вещества, энергии, пространства и времени, эволюции и развития, жизни и разума. Никто не запрещает ученым играть с теоретическими моделями,

примеря частные результаты ко всему на свете. Однако, если на этом пути мы забредаем в заведомый абсурд, первым делом следует усомниться в разумности модели, найти слабые места и подправить нелогичности, — но никак не напускать на себя дух высокопарной учености и не пытаться объявить всякую чушь истиной в последней инстанции. Большинство людей прекрасно понимают, что физика *не* предназначена для изучения психологических явлений и жизни; даже химические реакции «строгим» физическим теориям не по зубам, и приходится привлекать полуэмпирические соображения. По большому счету, сам факт существования разнообразных наук говорит об объективных различиях соответствующих предметных областей. А значит, всеобъемлющие сценарии движения Вселенной, основанные на очередной физической аналогии, могут быть полезны лишь в качестве иллюстрации формализма или намеренно утрированной экстраполяции, призванной вывести нас за границы применимости теории в надежде натолкнуться на неизведанное.

Бывает, что талантливый ученый очень уж увлекается творческими поисками и утрачивает способность отличить формальную модель одной из сторон мира от того, что в мире эта модель призвана в каком-то приближении представлять. Этой болезни больше всего подвержена «фундаментальная» наука, вроде общей теории относительности или квантовой теории поля. Допускаю, что математические трюки — вещь забавная, что это весьма достойное развлечение для сколько-нибудь любознательного человека; однако такие формальные манипуляции остаются всего лишь игрой, пока мы не откроем их действительного смысла — возможности практического применения. Математики не устают твердить о «строгости» и «доказательствах»; некоторые философы некритически развивают эти фантазии в сказках о «верификации» или «фальсификации». На самом же деле, не бывает доказательства без доли сомнения — поскольку всякое доказательство должно из чего-то исходить и перерабатывать это сырье в рамках некоторой логической традиции; оба пункта допускают широкий круг мнений и подвержены историческим подвижкам. Формальные выводы вовсе не обязаны иметь какое-то отношение к истине; точно так же, есть истины, которые совершенно не нуждаются в формальных обоснованиях. В XX веке понимание этого обстоятельства начало понемногу приходить к людям, по мере развития теории и практики вычислений.

Допуская, что утрированные экстраполяции вроде типлеровских (или дайсоновских) могут высветить ограниченность современной науки и необходимость понятий другого уровня, попробуем обозначить еще несколько нерешенных проблем, которые так или иначе повлияли на размышления Типлера — безотносительно к тому, как он сам это воспринимает.

1. *Неудовлетворительное описание физического пространства и времени.* Пространство и время — характеристики *развивающегося* мира, тогда как практически вся современная физика основана на старинной парадигме «координатной системы» и полагает, что пространство-время есть само по себе, нечто помимо и до физических событий, которые в него «вложены». Общая теория относительности претендует на увязывание структуры пространства-времени с материей, но с самого начала впадает в геометрический редукционизм, на корню убивающий хорошие намерения: логика дела вывернута наизнанку, и не геометрию порождает материя, а наоборот, материю делают призраком геометрии — а это верная дорога в концептуальный тупик.

2. *Почти отсутствует осознание иерархической организации мира.* Большинство людей не без основания полагает, что жизнь есть нечто большее, чем просто физическое движение, и что сознательная деятельность чем-то отличается от животного существования. Однако природа этих различий пока не понята. Это провоцирует упорные попытки свести один уровень сложности к другому, вывести высшие формы из примитивных — или наоборот, подвести все на свете под сознательный контроль. И все же нельзя объяснить жизнь одной лишь физикой или химией — хотя без физических и химических процессов жизни нет. Более того, жизнь в конечном итоге создает особые условия для физики и химии, иногда кардинально меняя наблюдаемые проявления все тех же низкоуровневых законов. Точно так же, субъективность *сопровождается* биологическими и физическими событиями, но объяснить ее ими никак нельзя.

Напротив, разум перестраивает мир таким образом, что явления низшего порядка оказываются связанными нехарактерными для природы способами, вписаны в рамки культуры.

3. *Нет четкого видения места и роли субъективности в целостности мира.* Современная наука и большинство философий еще не доросли до признания необходимости разума как особой стадии и уровня развития природы. Ученые предпочитают просто отмахнуться от всяческой субъективности, объявить ее иллюзией, вульгарной случайностью — либо вообще вывести за рамки разумного понимания, и за рамки физического мира, в сферу религиозного опыта. Типлеровский подход — вариация на ту же тему: сознательные существа у него превращены в компьютеры, случайным образом выбирающие одну из возможных судеб под крылышком божественного Омега.

Логика парадокса

Парадоксу Эйнштейна-Подольского-Розена исполнилось почти сто лет, когда поступили первые сообщения об экспериментах, якобы надежно подтверждающих квантовомеханическую интерпретацию. Однако если пристальнее посмотреть на технику и организацию эксперимента, возникает масса концептуальных возражений, и выводы экспериментаторов уже не кажутся столь обоснованными. Пока надежность имеющихся доказательств остается больше предметом личной убежденности, теории следует больше обращать внимания на понятийную основу, не пытаясь заранее что-либо утверждать или отрицать.

Есть подозрение, что экспериментальное разрешение парадокса вообще невозможно. Вопросы такого рода просто не относятся к ведению физики, и даже к уровню науки как таковой. Это хлеб философии и методологии. Когда мы встречаемся с парадоксом, можно со всей уверенностью заявить, что налицо логические ошибки, путаница, смешение уровней иерархии, соединение несоединимого. Стоит правильно развести конфликтующие стороны по их предметным областям — и все вопросы автоматически снимаются. В качестве одной из возможностей, попробуем обрисовать некоторые логические аспекты парадокса ЭПР.

1. Всякая теория справедлива лишь в пределах своей области применения; в науке не бывает абсолютной «строгости». А значит, адекватность физической теории — вопрос отнюдь не теоретический, и никакие «теоремы» или «доказательства» тут вообще невозможны: недостаточность теории за границами ее предметной области предполагается с самого начала и не требует ни формальных обоснований, ни эмпирической проверки. Самое большее, мы могли бы вывести какие-то условия применимости (обычно в форме сильных неравенств) — но такой вывод возможен лишь в рамках более общей теории (с позиций высшего уровня иерархии). Поскольку фундаментальных обобщений квантовой механики пока никто не предложил, любые рассуждения о ее истинности остаются чистой воды философствованием, а предложенные формальные критерии (вроде пресловутых неравенств Белла) не имеют собственно физического смысла. Даже если справедливость этих неравенств экспериментально подтверждена, это ничего не говорит об ограничениях квантовой и классической картин мира.

2. Можно вспомнить, что значительная часть концептуальных трудностей квантовой физики вытекает из принципиальной несовместимости с теорией относительности. Квантовая механика и релятивизм развивают классическую физику *в противоположных направлениях*. Теория относительности считает наблюдателя очень маленьким по сравнению с размерами системы в целом, так что ничего кроме своего непосредственного окружения он наблюдать не в состоянии. Релятивистская физика существенно локальна, она не имеет права сопоставлять пространственноподобно разделенные события. Напротив, наблюдатель квантовой физики — бесконечно велик, он разглядывает систему издалека (математически — из бесконечности), так что различить отдельные части не представляется возможным. Частицы (или волны) уходящие в сторону системы и приходящие от нее, детектируются только на бесконечности, когда они,

собственно, уже никак с этой системой не связаны, и проследить историю их взаимодействия с отдельными подсистемами (атомами, молекулами и т. д.) совершенно немыслимо. Пока электрон подчинен квантовым законам, глупо выяснять, откуда он взялся: из лабораторной установки, солнечной вспышки или отдаленной галактики; в этом (и только в этом) смысле электроны совершенно *неразличимы*.

Как все понимают, быть одновременно и очень большим, и очень маленьким, — дело не самое простое. Релятивистская квантовая теория всегда — поиск компромисса. Да, такие теории изначально непоследовательны; но, по большому счету, никакая наука (включая математику) не может быть до конца последовательной — впрочем, это и не важно, поскольку всегда есть возможность переключиться на другую теорию, если прежняя нас чем-то не устраивает. Здесь наука смыкается с искусством: хороший ученый умеет найти то самое деликатное равновесие в море формальных моделей, которое ведет к осмысленному результату. Когда это удается сделать прозрачным и экономным образом, мы говорим о красоте науки.

3. В последовательно релятивистской теории невозможно действие на расстоянии. Как только два электрона оказываются достаточно далеко друг от друга, их *можно* различить, а все, что происходит с одним из них, не должно оказывать ни малейшего влияния на другой. Это сугубо «макроскопическая» картина, так что каждая из частиц индивидуально участвует в любых взаимодействиях, нет никаких корреляций, — никаких обменных эффектов, и незачем припутывать к делу «квантовую телепатию» или искусственные парадоксы. На практике электроны ведут себя как макрочастицы в экспериментах типа милликеновских, в счетчиках Гейгера, в технике электронных пучков...

Противоположный тип поведения возникает на «микроскопическом» уровне, где частицы (или поля) взаимодействуют так, что наблюдаемы лишь отдаленные последствия — хорошо (макроскопически) отделимые от изучаемой системы. Но в этом случае электроны совершенно неразличимы — и о воздействии на один из них (чтобы потом оценить влияние этого воздействия на другой) вообще не может быть речи! Опять же, никаких концептуальных проблем.

Мысленные эксперименты, вроде предложенного Эйнштейном со товарищи, незаконно смешивают макроскопическое и микроскопическое описание, что и выглядит как явное противоречие, парадокс. Спрашивается: при чем здесь физика? Какое ей дело до теоретической ошибки, сваливающей в одну кучу физически разные явления?

4. С философской точки зрения квантовая механика выглядит привлекательно, поскольку речь, вроде бы, идет о целостности Вселенной. На самом деле — ничего подобного. Наоборот, мир оказывается безнадежно расколот на две несводимы друг к другу области: микромир и мир больших масштабов. В классической физике такого расщепления нет — и она в этом смысле более универсальна. Изначально разрушенное равноправие на каждом пути заводит в концептуальные тупики — и порождает разного рода метафизические спекуляции, призванные восстановить утраченный холизм.

Релятивизм разрушает универсальность классической физики по-своему: предполагается, что одни части мира физически отделены от других в силу конечности скорости распространения взаимодействий.

Преодолеть внутреннюю противоречивость квантовой и релятивистской физики возможно лишь в более общей теории, логическом синтезе того и другого, а просто не эклектической смеси, как в современных квантово-полевых представлениях.

Квантовая нелокальность, звездная эволюция и единство мира

Почему бы не принять, что кварки и лептоны — это существенно нелокальные объекты, своего рода коллективный эффект? Так, в простейшем случае, в паре электрон-позитрон порожденной фотоном высокой энергии, обе частицы предположительно остаются всегда

связанными, поскольку их поведение несет отпечаток их происхождения. Можно представить это себе как два конца струны, колебательные моды которой выглядят как калибровочные поля. В более сложной системе такими «струнами» соединены многочисленные частицы, так что возможных «колебательных мод» значительно больше. Наблюдаемые акты взаимодействия переключают «струны», выявляя другие коллективные образования, но порождающее их море частиц в целом остается тем же самым.

В норме однажды образованные связи между частицами каждого ансамбля должны сохраняться (с точностью до возможных перегруппировок) хотя бы потому, что относительные скорости частиц не могут превышать скорость света. В качестве альтернативы, можно привлечь и *существенную нелокальность*, когда корреляции в движении многих тел устанавливаются в пространственноподобных интервалах в силу каких-то квантовых эффектов, в духе известных теорем Белла. В этом случае соединяющие частицы «струны» становятся виртуальными, а их колебательные моды (которые мы соотносим с элементарными частицами и калибровочными полями) не наблюдаемы. Возможно, из-за этого в мире нет кварков и глюонов самих по себе. Такие же квантовые связи могут отвечать и за эволюцию Вселенной в больших масштабах.

Например, можно предположить, что материя звездных ядер (или центральных областей иных массивных объектов) должна быть гораздо сильнее коррелирована, чем ее сравнительно разреженные формы во внешних оболочках звезд и в межзвездном пространстве (включая планеты). Внутри звезд элементарные частицы не обязаны вести себя так же, как в более независимых состояниях, — подобно тому как атомное ядро не просто комбинация протонов и нейтронов, а, скорее, их сложная суперпозиция. Квантовая хромодинамика трактует ядро как единую сверхтяжелую частицу, коллективное состояние множества кварков и глюонов; почему бы не говорить тогда о чем-то вроде кварковых звезд? Если хотя бы часть кварков ядра такой звезды соединена с кварками других звездных ядер виртуальными «струнами», процессы в очень далеких друг от друга звездных системах могут оставаться синхронизированными, так что эволюция одной звезды зависит от эволюции другой. Коллективные колебательные моды таких «макрострун» будут влиять и на видимое поведение отдельных космических объектов.

В рамках такой картины уже можно искать различные проявления синхронной эволюции. Прямым подтверждением стало бы обнаружение связи между различными периодическими процессами (например, синхронизация пульсаров). В более глобальном варианте, фазы звездной эволюции вполне могут испытывать влияние близлежащих звезд, и даже зависеть от состояния Вселенной в целом. Исходя из этого, следует ожидать возникновения характерных регулярностей в пространственном распределении звезд; сюда же примыкает круг вопросов, связанных с происхождением и типологией галактик. Во всяком случае, представление о звездах, соединенных виртуальными «струнами» и влияющих на эволюцию друг друга, куда больше продуктивно в теоретическом плане, чем примитивная модель случайно разбросанных по миру звездах, живущих сами по себе.

Необходимым следствием парадигмы тесно связанной Вселенной становится идея всеобщей связи, на всех уровнях — включая жизнь и разум. В частности, зарождение жизни в той или иной части Вселенной никоим образом не случайно — оно подготовлено какими-то процессами макроэволюции. Точно так же, если жизнь поднимается до разумности, это следует считать одним из проявлений единства мира. Более того, сама способность человеческого разума схватывать явления несоизмеримо иных масштабов, по сравнению с реализующими разумное бытие телами, вытекает из нелокальной связи сколь угодно удаленных частей Вселенной; в таком понимании, сознание оказывается особой, высокоуровневой формой коллективного движения, чем-то вроде собственного состояния «суперструны», объединяющей все в мире в единое целое.

28 сентября 1998

Эксперимент ЭПР и взаимно дополнительные парадигмы в физике

Со времени публикации знаменитой статьи Эйнштейна, Подольского и Розена (1935) их мысленный эксперимент, иллюстрирующий проблемы совместимости квантовой теории и релятивизма, оброс толстым слоем околонучных спекуляций. Вопрос, конечно, не из простых. Есть многочисленные релятивистские теории квантовых систем, и некоторые из них позволяют делать весьма точные предсказания. Но до логически последовательного объединения квантовых и релятивистских идей нам еще далеко. Чтобы хоть как-то продвигаться вперед, мы отодвигаем сомнения в сторону, заметаем концептуальный мусор под ковер, — всецело полагаясь на оправдание задним числом, на сравнение расчетных параметров с экспериментом. Разумеется, для полуэмпирической теории такой подход в порядке вещей, — но если заходит речь о фундаментальной науке, желательно подвести феноменологическое разнообразие под единую концепцию таким образом, чтобы на выходе иметь еще и формальные критерии применимости.

Довольно скоро дискуссии вокруг эксперимента ЭПР вышли за рамки сугубо физической проблемы и породили море общеполитических споров о методологии науки и взаимосвязи материи и сознания. Многочисленные популяризаторы преподносят широкой публике чуждые всякой физике интерпретации, пропитанные политическими устремлениями и классовой идеологией, — так что становится затруднительно вернуться к продуктивной физической постановке вопроса.

Вот небольшая коллекция ходячих предрассудков по поводу эксперимента ЭПР и взаимосвязи квантовой и релятивистской парадигм.

Предрассудок 1: *Классическая механика отличается как от теории относительности, так и квантовой механики тем, что она считает физические системы независимыми от наблюдателя и описывает их абсолютным образом.*

Это, очевидно, не так. Ни одна наука не имеет дело с вещами самими по себе — все, с чем мы имеем дело, так или иначе включено в человеческую деятельность. Вырабатываемые наукой формальные структуры — отражение того, как мы обычно действуем, и любая теория говорит о чем-то в природе лишь поскольку оно вовлечено в культурные процессы, и прежде всего, в промышленность и сельское хозяйство. Научное понятие — это концентрированное выражение схемы деятельности, что и определяет область его применимости. Следовательно, научная теория будет неизбежно опираться на какое-то представление о субъекте деятельности. Модель субъекта в классической механике отождествляет его с *системой отсчета*. Принцип относительности в галилеевой формулировке гласит, что все инерциальные системы отсчета эквивалентны в смысле неизменности общей картины динамики, которая здесь полностью задана такими величинами как масса, ускорение и сила. Наблюдатели, движущиеся друг относительно друга с постоянной скоростью обнаружат тот же набор взаимодействий (хотя кинематически движение в разных системах отсчета может выглядеть весьма различно). Это означает, что каждый наблюдатель должен быть достаточно большим, чтобы уметь сопоставлять разные точки пространства *в один и тот же момент времени*; иначе говоря, наблюдатель может зафиксировать состояние всех объектов в рамках его системы отсчета «с одного взгляда». С другой стороны, классический наблюдатель не настолько велик, чтобы детали строения исследуемой системы (индивидуальные тела и их движения) становились неразличимыми. То есть, размеры классического наблюдателя, грубо говоря, сопоставимы с размерами физической системы.

То же самое можно представить и по-другому: система отсчета трактуется как континуум наблюдателей, размещенных во всех точках пространства, — при условии, что обмен сообщениями между наблюдателями намного быстрее типичных скоростей и характерных времен взаимодействия наблюдаемых физических тел, равно как и скоростей относительного движения различных систем отсчета. В динамическом аспекте, предполагается, что никакие наблюдения не нарушают собственных движений физических тел; в другой терминологии,

передача энергии от наблюдателя системе и обратно всегда незначительна по сравнению с энергетическими потоками внутри системы.

В теории относительности наблюдатель гораздо миниатюрнее: его размеры, скорее, сопоставимы с размерами составляющих физическую систему тел, а не с размерами системы в целом. Или, что то же самое, интенсивность общения разных наблюдателей сопоставима со скоростями внутри системы.

Размеры квантового наблюдателя, напротив, очень велики, намного больше наблюдаемой системы; в результате тонкие детали движения теряются, они принципиально (а не только формально, как в классической статистике) неразличимы. Такой глобальный наблюдатель может воздействовать на систему только помещая ее в определенные (макроскопические) условия — но никак не за счет взаимодействия с одной из ее частей.

Итак, классическая механика отличается от релятивистской или квантовой лишь принятой моделью наблюдателя. Однако есть и общее: *во всех случаях* предполагается, что наблюдение не нарушает характера движения физической системы, что энергетический обмен между системой и наблюдателем пренебрежимо мал по сравнению с энергетикой процессов внутри системы. Иначе просто не было бы собственно *физического* измерения и *физической* науки. Внутренне согласованным физическое описание природы становится, если наблюдатель принципиально не отличается от любой другой физической системы — а для этого надо ввести наблюдателя в контекст теории как определенную в ее собственных терминах *связь*. В частности, нет никакой нужды в предположениях, скажем, о сознательном характере действий наблюдателя, или его экономическом положении — эти аспекты всецело относятся к ведению психологии или экономики, соответственно. Это никоим образом не запрещает формальные аналогии: например, марксизм требует учитывать в исторической науке социальные корни историка — это вполне подобно смене парадигм при переходе от классической к релятивистской физике.

Предрассудок 2: *Разные физические парадигмы можно считать частями более общей теории.*

Это утверждение обычно связывают с пресловутым принципом соответствия, требующим, чтобы новые теории включали в себя старые как предельные случаи. Однако есть существенная разница. Возможны взаимно дополнительные описания одной и той же физической системы, относящиеся к не связанным между собой сторонам ее поведения; такие «параллельные» теории могут развиваться относительно независимо друг от друга. Например, термодинамическая картина качественно отлична от кинетической теории, и одно не выводится из другого без концептуальных натяжек и скрытых логических кругов. Принцип соответствия говорит лишь о теориях одного класса — и вполне может нарушаться при освоении неожиданных проявлений чего-то вполне привычного.

Можно на практике считать такие независимые парадигмы разными теориями, хотя бы они относились к той же категории наблюдаемых вещей. Другими словами, сама идея объекта предполагает не только материальную основу, но и определенное отношение к субъекту, выделяющее одно из возможных внешних проявлений, так что физическая система, взятая в ином отношении, — это другой физический объект. В этом контексте, любая модель, соединяющая различные парадигмы, будет развиваться в особую теорию — которую в каких-то случаях можно считать более фундаментальной.

Иерархия парадигм в науке отражает разнообразие наших повседневных дел и объективно различные типы организации деятельности. Развитие культуры, как правило, ведет к широкой унификации, и то, что ранее выделялось в особую профессию, каждый теперь делает мимоходом, в рамках другой задачи. В частности, всеобщая компьютеризация вводит еще один уровень опосредования на пути от идеи к ее воплощению: поскольку управление производством сводится к управлению компьютерами, единообразие принципов позволяет рядовому пользователю в несколько щелчков мыши сделать то, что раньше потребовало бы согласованных действий команды высококвалифицированных специалистов. Да, это работает только для относительно

простых, повторяющихся ситуаций; но по мере появления общедоступных универсальных орудий границы между неквалифицированной и профессиональной работой сдвигается, что приводит и к перестройке профессионального образования. Например, всякий может легко построить страницу интернет-сайта с использованием какого-то из многочисленных средств разработки в HTML, или даже напрямую генерировать ее из обычного офисного документа. Промышленная разработка, как правило, опирается на одну из универсальных платформ — так что разработчику требуется лишь минимум сведений о базовых технологиях. Однако для более тонкой оптимизации нужно знать и языки программирования, и особенности их реализации в разных системах. Аналогично, общая физическая теория может вбирать в себя частные знания, что позволяет иногда получать значимые результаты простыми и элегантными способами, — но это не отменяет необходимости разработки специализированных моделей для некоторых предметных областей: считать такие модели частными случаями фундаментальной теории можно лишь условно — и они никоим образом не конкурируют друг с другом и не обязаны быть совместимы. В качестве иллюстрации: балетная техника и балльные танцы используют одни и те же принципы динамики человеческого тела — однако хороший балетный танцор не сравнится с балетником-профессионалом, и наоборот, первоклассные балльные танцоры никак не уместны в балете.

Предрассудок 3: *Релятивизм запрещает синхронизацию событий, разделенных пространственноподобным интервалом.*

В популярной литературе это утверждение часто формулируют более жестко: не бывает синхронных процессов на больших расстояниях. Эта вульгарная интерпретация — очевидный абсурд, поскольку, если две материальные точки начинают разбегаться друг от друга из единого центра, расстояние между ними в конце концов станет очень большим — но интервал все равно остается времениподобным, поскольку относительные скорости меньше скорости света; такое разбегание навсегда сохраняет изначальную синхронизацию (если, конечно, не вмешиваются независимые локальные взаимодействия). В частности, движение двух частиц, о которых идет речь в мысленном эксперименте ЭПР, неизбежно коррелировано. В качестве типичного примера можно также взять сферическую волну, в которой фазы остаются синхронизированными на любых расстояниях в любой момент времени.

Однако никому не возбраняется ввести в релятивистскую теорию и синхронизацию на пространственноподобных интервалах: если корреляция установилась в одной системе отсчета, она, согласно принципу относительности, сохранится и в любой другой. С этим обстоятельством связана сама возможность осмысленного определения системы отсчета: предполагается, что в каждой системе отсчета часы уже синхронизированы во всем пространстве-времени, включая пространственноподобные интервалы. Плоская волна, вероятно, самый распространенный объект в релятивистской теории поля: по сути дела, это просто выраженное другими словами условие корреляции фаз (в том числе и вне светового конуса). Именно принципиальная нелокальность плоской волны делает ее полезнейшим инструментом квантовой теории поля, обеспечивает ковариантное описание квантовых состояний.

Ясно, что плоская волна может быть испущена только бесконечным источником, что выводит нас за рамки последовательного релятивизма. Любые локальные события (а другие мы формально рассматривать не имеем права) порождают лишь сферические волны — а никак не плоские. В учебниках физики часто отождествляют плоскую волну с очень маленьким участком сферической волны, вдалеке от источника. Такое приближение возможно только в нерелятивистском пределе — и не может оправдать использование плоских (или сходящихся сферических) волн в релятивистских теориях поля. Эклектичное привнесение нелокальности в локальную теорию приводит ко всевозможным концептуальным и формальным трудностям; перенормируемые (а с другими мы просто избегаем иметь дело) сингулярности — типичный пример. Тем не менее, само по себе существование нелокальных объектов не противоречит теории относительности: пока они не связаны с какими-либо физическими взаимодействиями, их ковариантное описание вполне возможно.

Предрассудок 4: *В квантовой механике возможны независимые измерения.*

Это чисто логическое противоречие: поскольку квантовый наблюдатель занимает все вообще пространство, любые два измерения неизбежно окажутся связанными. Однако перенос энергии от наблюдателя к системе можно минимизировать, если наблюдатель взаимодействует с объектом наблюдения не напрямую, а через особые макроскопические системы, которые зондируют исследуемую систему «стандартным» образом. Обычно речь идет о экспериментах типа рассеяния, так что наблюдатель контролирует лишь состояния «снарядов» и продуктов рассеяния на очень больших (макроскопических) расстояниях от системы-мишени (области взаимодействия). Влияние частиц-зондов на физику мишени можно минимизировать, сделать незначительным по сравнению с внутренними взаимодействиями (или, по крайней мере, ограничить имеющиеся возможности классически перечислимым образом). Наблюдатель ловит продукты реакции «на бесконечности», и мы считаем, что это слишком далеко, чтобы отражаться на процессах внутри системы. Предположение очень сильное — оно заведомо не проходит для глобально синхронизированных процессов, когда наблюдатель не волен выбирать возможные типы асимптотического поведения; тем не менее, модель «асимптотического» наблюдателя остается одним из краеугольных камней квантовой теории.

Обращаясь к взаимоотношениям квантовой механики и теории относительности, заметим, что разлетающиеся частицы в экспериментах типа ЭПР остаются всегда коррелированными, пока речь идет *об одном и том же* наблюдателе. А для этого требуется, чтобы измерения производились «адиабатически», так что время измерения намного больше характерных времен релаксации внутри системы. Вспомним аналогичные выводы о невозможности существования абсолютно жестких тел в теории относительности. Как только времена измерений оказываются сопоставимыми с темпом внутренних часов системы, соответствующие им переданные энергии уничтожат возможность совместных независимых измерений в пространственно разнесенных точках. Но если разбегающиеся частицы детектируют разные наблюдатели, сопоставление результатов требует дополнительных процедур — и дополнительного времени, что приведет к значительным поправкам при интерпретации результатов эксперимента.

Предрассудок 5: *Эксперименты типа ЭПР могут стать решающим доводом в пользу справедливости нелокальной (квантовомеханической) парадигмы, указать на ограниченность локальных теорий, включая теорию относительности.*

Из уже сказанного ясно, что это не так. Допустим, что возможные эксперименты будут либо локальными (а значит, совместимыми с классической динамикой), либо существенно нелокальными (квантовыми). В первом случае никакое измерение состояния одной из испущенных частиц не может влиять на состояние другой, и установление каких угодно корреляций требует особой деятельности, перестройки эксперимента. С другой стороны, чтобы поставить квантовый эксперимент, мы вынуждены оставаться в адиабатических пределах, так что частицы должны эффективно оставаться *в той же точке* — интервал между ними тождественно равен нулю. В квантовой физике нет самостоятельных частиц, которые можно было бы разглядывать по отдельности, — есть только единая система двух частиц, плюс какие-то иные объекты, представляющие здесь интерференцию с наблюдателем.

Если в локальной постановке какие-то измерения оказываются коррелированными, это лишь означает, система была соответствующим образом *приготовлена*, то есть, глобальные корреляции ранее привнесены каким-то нелокальным образом, после чего они сохраняются во всех системах отсчета. Но идея «приготовления» исследуемых систем — это то, на чем держится вся вообще квантовая идеология, где наблюдатель существенно вовлечен в физическое движение. Формально это означает исключение ряда кинематических переменных путем наложения разного рода *связей* (включая изначально предполагаемые симметрии — и соответствующие им законы сохранения). Таким образом, в экспериментах типа ЭПР мы никогда не имеем дела с двумя независимыми частицами, состояние которых возможно было бы описать их координатами и импульсами (с точностью до канонического преобразования) — реально речь

идет об одной частице. Следовательно, нет никаких корреляционных эффектов, нарушающих принцип локальности, — и отсутствует постановка проблемы. Ничего удивительного в том, что фазы внутри одной волны взаимосвязаны. Чтобы говорить о существенном релятивизме, придется сопоставлять друг с другом независимых (разделенных пространственноподобным интервалом) наблюдателей: но такие наблюдатели не могут обмениваться результатами своих наблюдений, и снимаются ограничения на совместное измерение координат и импульсов, в духе принципа неопределенности.

Предрассудок 6: *Теорема Белла указывает на возможность экспериментально отвергнуть теории со скрытыми переменными и подтвердить справедливость квантовой механики.*

Теорема Белла и ее альтернативные варианты (вроде CHSH), как и другие формальные результаты в науке, основана на весьма частной модели, и любые выводы могут относиться только к этой конкретной модели, никоим образом не затрагивая основополагающих принципов. Скрытые переменные (или иные классические модели для описания квантового эксперимента) можно определять по-разному, и никакая теорема не позволяет судить обо всех этих возможностях сразу. Даже если допустить, что какие-то эксперименты определенно говорят о нарушении неравенств Белла (или CHSH), это может быть связано лишь с логикой вывода и, возможно, адекватностью интерпретации. Если при этом какие-то другие результаты успешно вписываются в формальные пределы, это не может ни доказать правильность классической модели, ни указать на неполноту квантовой механики; мы имеем право лишь подозревать непоследовательности в постановке эксперимента, несоблюдение квантовомеханической схемы. Философия говорит нам, что мир не настолько примитивен, чтобы со временем не обнаружились бесчисленные варианты ситуаций, требующих чего-то промежуточного между классическим и квантовым подходом: так сказать, «выше» классической механики — но «ниже» квантовой.

Неравенства в духе Белла — частный случай *условий применимости*, которые обязательно возникают в каждой сколько-нибудь развитой физической теории, независимо от степени ее общности. Такие условия формулируются для какой угодно модели: от метода наложения конфигураций в теории автоионизации в атомах и ионах — до общей теории относительности или космологии. Важно, что такие условия выводятся средствами самой теории, *внутри* нее. Попытка оправдать одну теорию путем сравнения с *другой* — логическая ошибка: при соблюдении логической последовательности, мы должны были бы заключить, что получаемые таким способом выводы не относятся ни к одной из сопоставляемых теорий, а, скорее, говорят о какой-то *третьей* теории, справедливой в пограничной области.

Предрассудок 7: *Квантовая механика нуждается в интерпретации.*

С самого зарождения квантовая механика стала предметом философских спекуляций. Многие пытались «перевести» ее язык обыденных представлений или метафизический жаргон, объяснить ее «странности» чем-то еще. Один из популярнейших проектов такого рода, копенгагенская интерпретация, представляет лагерь «мистиков», допуская, что сознание может играть решающую роль в квантовом измерении, приводить к «редукции» квантовых состояний или «квантовому коллапсу». Поскольку приверженцы копенгагенской школы не имеют ни малейшего представления, о том, что такое сознание, — открывается широчайшее поле для идеалистических откровений, перерастающих в отрицание всякой возможности познания.

Другая, более продуктивная группа интерпретаций предлагает ряд в какой-то мере физических моделей для иллюстрации вероятностного характера квантовой механики, объяснения нелокальных корреляций, принципов дополненности или неопределенности. Здесь можно упомянуть теории со скрытыми параметрами, полуклассические интерпретации, принцип множественности миров, теории опережающего действия или транзакционные модели. Однако эти и им подобные интерпретации, по большому счету, не имеют отношения к типовым задачам квантовой физики или теории относительности, и практические приложения в них не нуждаются. Тем не менее, такие изыскания полезны в качестве одной из форм творчества в

теоретической физике, и в конечном итоге способствуют поиску новых парадигм для иных предметных областей, где недостаточно ни квантовой картины, ни релятивизма.

Как собственно физические модели, ни квантовая механика, ни теория относительности не требуют никаких интерпретаций. Наоборот, именно фундаментальные теории служат средством интерпретации результатов наблюдения или эксперимента, направляют развитие частных теорий для конкретных предметных областей. Говорить о «неполноте» квантовой или иной теории — чисто *логическая* ошибка. Они не для того созданы. Наука по самой своей сути аналитична: ее дело представить любую вещь с самых разных сторон, раскрывающих взаимно дополнительные (а следовательно, несводимые друг к другу) черты одного и того же. Поскольку таких точек зрения (практических приложений) может быть сколько угодно, всегда есть место для еще одной парадигмы.

Предрассудок 8: *Физика может объяснять жизнь или человеческое сознание.*

Ничего подобного. Живое не сводится к одним лишь химическим или физическим процессам, а сознание нельзя вывести из физики или биологии. Пытаться постичь природу разума на основе изучения движения частиц и полей в мозгу — глупая наивность. Физический эксперимент поставляет только физические данные — и ничего сверх того. Эти данные можно интерпретировать в терминах физики — а иначе это уже не физика. И даже если требуется учесть воздействие разумных существ («наблюдателей») на физическую систему, сделано это должно быть в рамках физики, в ее предметной сфере. Знания о жизни или сознании требуют особым образом организованного эксперимента, в соответствии с указаниями теорий того же уровня. Любое использование физической терминологии в таких ситуациях может быть, разве что, метафорическим.

Это никоим образом не означает неприменимости формальных моделей, построенных для описания каких-то областей физического мира, в науках о чем-то вне физики. В частности, вполне возможно говорить о психологических явлениях как если бы они подчинялись законам классической механики, квантовой физики или теории относительности, — но только при условии собственно психологической интерпретации всех без исключения параметров модели, не допуская смешения физического и психологического уровней. Мысль не имеет массы в физическом понимании — однако вполне законно говорить о психологической инерции как сугубо психическом явлении. Точно так же, психологическая динамика связана с переплетением человеческих мотивов, а вовсе не с балансом физических сил. Формальное сходство не означает одинаковости содержания.

Применимость одной и той же формальной схемы в разных науках прежде всего связана с общностью культурно установленных способов деятельности. Такое сходство не лежит на поверхности, его бывает трудно усмотреть. Так, массы на веревочке, электрический ток или вращение планет вокруг звезды — могут показаться совершенно разными, ничего общего не имеющими явлениями; однако все они оказываются в какой-то степени представимы моделью гармонического осциллятора. При всем при том, планеты оббегают звезду вовсе не так, как электроны дрейфуют в проводе. Различные природные процессы иногда весьма сходны по внешним проявлениям — и это прямое следствие их необходимости в единстве человеческой деятельности.

Время и интервал

В наше время специальная теория относительности воспринимается как априорный постулат: пространство-время подчинено группе симметрии $O(1,3)$ — что предполагает инвариантность некой квадратичной формы, интервала:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2$$

или, в «ковариантной» нотации,

$$ds^2 = g_{\mu\nu} x^\mu x^\nu,$$

полагая $x^0 = ct$ и принимая стандартную сигнатуру метрического тензора: $g_{\mu\mu} = (1, -1, -1, -1)$, $g_{\mu\nu} = 0$ для $\mu \neq \nu$.

При всей практической полезности, такое формальное определение вряд ли удовлетворит того, кто всерьез интересуется физикой пространства и времени. Почему, собственно, такая конструкция? Да, это прекрасно соотносится со всем, что мы до сих пор видели на опыте, и это можно уверенно встраивать в разные приложения. При всем при том, природа такой связи пространства и времени совершенно неясна, и у нас нет никаких указаний на физические условия, при которых следует выбирать именно так, — то есть, мы ничего не можем сказать об области применимости специальной теории относительности. Для физика — это серьезный недостаток, указание на несовершенство теории: никакой формализм не бывает универсально применим, и сколько-нибудь последовательная теоретическая система должна четко видеть собственные границы.

Поначалу еще пытались что-то объяснять, связывали инвариантность интервала с набором физических принципов, таких как эквивалентность точек пространства и моментов времени (отсюда трансляционная инвариантность), независимость поведения системы от ориентации в пространстве (отсюда инвариантность по отношению к пространственным вращениям) и, наконец, постоянство скорости света во всех системах отсчета (а следовательно, симметрия по отношению к гиперболическим вращениям). Аргументация отнюдь не бесспорна — однако сама идея увязать основания науки с типовыми формами человеческой деятельности достаточно плодотворна, чтобы стимулировать дальнейшие исследования и поиск возможных обобщений. Относительность таким образом понимается как на опыте проверяемая гипотеза, а не абстрактная необходимость, лишь косвенно подтвержденная справедливостью отдельных выводов, то есть, в довольно слабой форме, — поскольку сама постановка эксперимента опирается на ту же теорию, и результаты заведомо будут согласованы с ней.

Но есть еще один релятивистский принцип, который не следует из геометрических симметрий и требует привлечения допущений о характере динамики. Знаменитейшая формула Эйнштейна $E = mc^2$ устанавливает эквивалентность массы и энергии. В качестве массы здесь фигурирует некая динамическая величина, определяемая формулой

$$m^2 c^2 = m_0^2 c^2 + p^2.$$

Природа массы покоя m_0 все еще остается за рамками обсуждения; принято считать, что она должна как-то зависеть от материала частицы и параметров внутреннего движения. Массы покоя так называемых элементарных частиц в большинстве приложений можно считать физическими константами — хотя есть теории, выводющие их из других величин (предположительно, более фундаментальных).

Релятивистская динамика материальной точки следует из принципа наименьшего действия, если действие точечной частицы связано с интервалом соотношением

$$dS = -m_0 c ds = -\sqrt{m_0^2 c^4 dt^2 - m_0^2 c^2 dx^2} = \sqrt{E_0^2 dt^2 - p_0^2 dx^2},$$

где через E_0 обозначена энергия покоя частицы, а p_0 по форме есть некоторый импульс, связанный с массой покоя. Однако можно было бы поступить и наоборот, производя интервал из действия; роль вариационных принципов в физике до сих пор неясна, хотя и считается, что все без исключения фундаментальные теории обязаны с ними согласовываться.

Мысль о взаимосвязи пространства и времени кажется вполне естественной, поскольку расстояния на практике измеряют временем, требуемым для их исчерпания отдельными шагами, повторяющимися в заданном темпе. В частности, это может быть и число прикладываний линейки к сегменту линии, и время, за которое свет проходит от одного конца к другому. Но в

релятивистской физике логика обратная: время измеряется расстоянием, которое преодолевает свет. По всей видимости, это фундаментальное предположение вводит скрытый логический круг, и независимость скорости света от системы отсчета может оказаться артефактом, поскольку измерение времени изначально привязано к процессу распространения света. Разумеется, это не имеет особого значения, пока у нас просто нет другого выбора; однако превращая постоянство скорости света в априорный постулат, мы на корню пресекаем попытки найти независимые от света меры времени.

Исключительно для иллюстрации, приглядимся к одной альтернативной трактовке. Перепишем определение интервала в форме

$$dt^2 c^2 = ds^2 + dx^2.$$

Сравнивая это равенство с определением динамической массы,

$$m^2 c^2 = m_0^2 c^2 + p^2,$$

мы замечаем подозрительное сходство, которое, конечно, может быть чистым совпадением — но может и намекнуть на нетрадиционные интерпретации теории относительности. Вместо того, чтобы сводить время к пространству, мы могли бы допустить, что время характеризует иерархию движения частицы, включая как пространственные перемещения, так и внутренние движения (ответственные за массу покоя). В такой картине описание системы в конфигурационном пространстве дуально ее представлению в импульсном пространстве — что очень логично, поскольку эти два пространства являются просто Фурье-образами друг друга. То есть, смещение вдоль виртуальной траектории частицы предполагает (в активном или пассивном смысле: обнаруживает или требует) определенного действия, которое, с учетом размера смещения, дает естественную меру времени, а вариации траектории призваны минимизировать эту величину. Здесь, в частности, в теорию вводится *стрела времени*: даже для покоящейся частицы время продолжает течь в силу внутреннего движения, а любое пространственное перемещение заставляет его течь быстрее. Такое представление гораздо ближе к интуитивной идее времени, а порождение пространства-времени развивающейся материей понятно само собой и теоретически последовательно. Инвариантность интервала в такой картине напрямую связана с массой покоя как константой движения.

Можно было бы возразить, что такой подход нарушает трансляционную инвариантность во времени. Но это лишь видимость: пока переход от одного момента времени к другому не нарушает характера динамики, совершенно безразлично, с чего мы начнем (ср. самоподобие фракталов). С другой стороны, для каких-то типов развития (прежде всего связанных с внутренней перестройкой и коллективными эффектами) трансляционной инвариантности во времени заведомо нет, что прекрасно согласуется с нашими представлениями о необратимой динамике.

В иерархии форм движения распределение пространственных траекторий одного уровня становится частью внутренней динамики другого, и наоборот, внутренняя динамика может всегда быть представлена как внешнее движение плюс какое-то движение более глубокого плана. Вообще говоря, на каждом уровне этой иерархии возникает своя естественная мера времени, соответствующая определенному выбору опорных процессов. Например, внутреннее время квантовой механики может быть связано с совершенно новым классом взаимодействий, распространяющихся намного быстрее света. Это обеспечивает существенно коллективное поведение квантовых систем для макроскопического наблюдателя, которому любые внутренние процессы формально представляются как мгновенные, — отсюда неразличимость частиц и обменные эффекты.

Конфигурационное пространство внутреннего движения скрыто от наблюдателя: для вышележащего уровня оно разворачивается внутри каждой точки. Внешне это выглядит, как если бы частицы могла на время уйти с ее «макроскопической» траектории и вернуться обратно без малейшей видимой задержки. Другими словами, внутреннее движение с макроскопической точки зрения выглядит как серия очень быстрых (виртуальных) осцилляций; их частоты дают

вклад в массу покоя — в которой также учтены колебания более низкого уровня. Разумно предположить, что каждый уровень иерархии допускает лишь ограниченное количество возможных колебательных мод (стоячие волны). Тем самым возникает наблюдаемый спектр масс, очевидно зависящий от уровня рассмотрения.

В результате традиционная релятивистская теория оказывается в более общем контексте, и можно задавать вопросы о пределах ее применимости. Мы заключаем, что постулат о неизменности скорости света эквивалентен утверждению о существовании низшего (наиболее фундаментального) уровня материи. Разновидности такого подхода неоднократно проникали в науку — но каждый раз поставленные познанию пределы уступали напору истории, и новые фундаментальности приходили на место прежних. Вполне возможно, что иерархическое обобщение схемы теории относительности позволит избавиться от многих (нефизических) сингулярностей, связанных, прежде всего, с сингулярным характером преобразований Лоренца. Нулевая масса покоя фотона означает лишь, что мы не учитываем внутреннего движения; если фотон начинает участвовать в каких-то виртуальных трансформациях, он приобретет ненулевую собственную энергию — такой «внутренне структурированный» фотон будет распространяться медленнее. Физический вакуум — не пустое место; предположение об исключительной роли скорости света в вакууме — не более чем полезная абстракция. Ничто принципиально не запрещает нам допустить существование иных способов организации материи (включая вакуум) и на практике обнаружить какие-то типы внутреннего движения у фотона. Почему бы и нет? Может, например, оказаться, что гравитация нужна как раз для того, чтобы связывать один уровень иерархии с другим.

Дырявая чернуха и логика

В наши дни никто уже не сомневается, что Вселенная прямо-таки кишит так называемыми черными дырами. Астрономы накидывают сотни хорошо подтвержденных свидетельств, плюс предположения о массивных невидимых компаньонах ответственных за странности в поведении наблюдаемых источников излучения — и надо только взглядеться пристальнее, чтобы вытащить на свет еще одну черную дыру. Присутствие черных дыр в ядрах галактик и квазарах уже приобрело статус абсолютно неоспоримого факта. Но при всем при этом природа черных дыр остается столь же темным предметом, как и в 1915 году, когда Карл Шварцшильд обнаружил свое второе («внешнее») решение уравнений Эйнштейна, — или как в 1964-м, когда броский штамп «черная дыра» пустили в околонуучный оборот. Все, что мы можем на данный момент иметь в виду, — это компактный массивный объект, для которого еще не придумали по-настоящему физического, свободного от сингулярностей, теоретического описания. Жуткое зрелище пожирающего материю монстра — в духе бульварной прессы, — никак не вяжется с серьезной наукой или философией.

Здесь нет смысла вдаваться в математические тонкости и анализировать в деталях характер технических допущений. Все это есть в специальной литературе. Мое дело — привлечь внимание к практическим основаниям науки и ее логической структуре. Для этого подходит любая тема — так почему бы не взяться за черные дыры?

Бесконечность как математическая абстракция безусловно полезна, поскольку она позволяет разделить сложные задачи на относительно обозримые фрагменты без чрезмерных вычислительных усилий. Слово «бесконечный» следовало бы переводить на обычный язык как «предоставляющий достаточно места для практических действий без необходимости каждый раз задумываться об их допустимости». В окружающем мире не бывает нулей или бесконечностей, как нет в нем абсолютного равенства или тождества. На каждом шаге мы намечаем какое-то количество ближайших целей — все остальное служит насыщенным фоном. Пока мы можем сделать хотя бы шаг — перед нами бесконечность. Иногда эта свобода утомляет: мы чувствуем, что это уже «чересчур» — и уходим от прежних занятий к чему-то еще. Именно это имеет в виду

диалектический принцип перерастания количества в качество: любые изменения накапливаются лишь до какого-то естественного предела — а дальше нужен качественный скачок. Всякий физик усваивает эту диалектику со школьной скамьи — но потом некоторые любители отвлеченно теоретизировать забывают о правилах приличия и готовы уверовать в реальное существование математических абстракций

Еще, и еще раз: в физике не бывает бесконечностей. Разговоры о точечных частицах или материальных точках имеют в виду физические системы, которые лишь *выглядят* точечными откуда-то издалека. Говорить о сингулярностях можно только в том смысле, что где-то далеко от предполагаемой сингулярности поле выглядит так, как *если бы* она там была. Бесконечно удаленные области пространства и времени суть сокращение для утверждения, что воздействием тамошних обитателей на наши дела *можно пренебречь*. В этом физика подобна высоколобой науке о компьютерах, где непрерывные модели позволяют делать осмысленные утверждения о существенно дискретных системах. В физике особенно важно чувство меры: если что-то растет или убывает слишком быстро — самое время перейти к другим, более разумным шкалам.

Мистическое благоговение перед математикой не позволяет людям заметить, что математика тоже не свободна от логических проблем. Сколь угодно строгое рассуждение исходит из довольно туманных общих представлений — и это шаткое основание всегда можно подрегулировать так, чтобы получить все, что душе заблагорассудится. По сути дела, математика есть чистая тавтология; в ее основании обычный логический круг — и открываемые таким путем «истины» совершенно бесполезны, пока мы не порушим принципы навязчивой строгости, применяя формальные результаты к чему-то совершенно неформальному.

Черные дыры — прекрасный пример дырявой логики в теоретической физике. Всякий научный результат справедлив только в пределах применимости соответствующих теорий. Экстраполяция формул за эти пределы может быть полезна в качестве общей аналогии или метафоры — но никак не в качестве метода научного исследования. Намеренно уходя от логики теории, мы как бы зондируем ее границы, ищем новые научные направления. В отношении же черных дыр научная общественность вместо того, чтобы отметить очевидную противоречивость свихнулась в пошлые спекуляции, далекие от стандартов научного мышления.

А что на самом деле? Стационарное решение уравнений общей теории относительности Шварцшильда ищет в предположении присутствия точечной массы, тяготение которой должно определять структуру пространства-времени в целом. После ряда формальных манипуляций он приходит к выражениям, намертво отделяющим одну область пространства-времени от другой, так что точка, находящаяся внутри некоторой области (шварцшильдовской сферы) никак не может влиять на физические явления вдали от этой области. Это очевидное противоречие не мешает нам использовать формулы там, где они, собственно, и применимы — далеко от источника гравитации; однако разум требует, чтобы не очень-то полагались на те же формулы вблизи тяготеющей массы, где надо искать другие, физически осмысленные решения. Такого рода компромиссы между физическим смыслом и математической строгостью — обычное дело в науке. Например, все знают, что низкочастотная часть спектра излучения черного тела хорошо описывается законом Рэлея-Джинса, который при уменьшении длины волны дает формально расходящиеся выражения («ультрафиолетовая катастрофа»). Наоборот, формула Вина прекрасно работает при высоких энергиях — но падает в длинноволновом пределе. Чтобы свести одно с другим, Макс Планк предложил полуэмпирическое распределение, которое, как оказалось, описывает квантование излучения. Отсюда растут великие победы квантовой физики. Теория черных дыр, по всем статьям, готова пойти по той же проторенной дорожке: внутреннее и внешнее решения Шварцшильда могут быть взяты как предельные случаи более общего закона, требующего введения еще одной фундаментальной физической константы (что-то вроде фундаментальной длины) и открывающего новую главу в истории физики, связанную с естественным объединением квантовой физики и релятивизма.

Адепты чернушно-дырявой логики будут против. Они свято верят, что одно решение годится и для внешней области, и для внутренности критической сферы, и что наличие

сингулярности есть выражение особой природы гравитации. Кто не уверовал — тому, очевидно, не хватает фантазии и образования, чтобы по достоинству оценить великие открытия науки XX века.

Однако есть еще одна, очень похожая релятивистская сингулярность, которую те же верующие трактуют совершенно иначе. Когда мы пытаемся вывести преобразования Лоренца из общефизических соображений (а не просто постулировать их), мы парадоксальным образом приходим к ситуации, когда пространство-время разваливается на две никак не связанные друг с другом области — в точности как шварцшильдовская теория поступает с гравитацией. Но здесь все согласны, что пространственноподобный интервал — достаточное основания запретить всякое общение и взаимодействие материальных тел; но та же логика прямо ведет нас к мысли, что точечная масса внутри сферы Шварцшильда совершенно недоступна внешнему наблюдению и никак не может быть причиной каких-либо физических сил.

Для непредвзятого мышления, возникновение формальных расходимостей означает лишь то, что исходные допущения где-то неприменимы, и мы обязаны пересмотреть их вблизи критических областей. Это общенаучный принцип, справедливый и в классической механике, и в теории относительности, и в квантовой теории. Например, в классической электродинамике мы рассматриваем точечные частицы — и это сразу же дает бесконечные значения потенциала вблизи источника. Это приближение проверено вплоть до очень малых расстояний — но мы можем с уверенностью предсказать, из чисто логических соображений, что где-то все равно мы упрямся в необходимость поставить под вопрос традиционное понятие электрического заряда и пересмотреть представления о точечных частицах. Продвижение «вглубь» электрона открывает иную физическую картину — внутреннее пространство электрона, так что его заряд окажется лишь обобщенной характеристикой внутреннего движения, весьма непохожего на обычные пространственные формы.¹ В каком-то смысле шварцшильдовская сингулярность происходит из той же абстракции точечной частицы — хотя у нас пока нет экспериментальных свидетельств о квантовании тяготеющих масс. Но по мере приближения к шварцшильдовской сфере мы погружаемся в иное пространство, лишь в общем статистическом смысле связанное с наблюдаемой издалека геометрией.

Хорошо известно, что квантовая физика не устраняет классических сингулярностей — поскольку она исходит из все тех же представлений о пространственно-временном континууме. Иначе говоря, мы по-прежнему придерживаемся учения о точечных частицах — пусть даже представленных континуумом виртуальных клонов. Конфигурационное пространство квантовой механики (а тем более квантовой теории поля) состоит из всевозможных распределений в виртуальном пространстве-времени — что лишь усугубляет болезнь, поскольку в обиход вводятся функциональные пространства с мощностью на порядки выше простого континуума. Нынешние струнные модели логически привлекательны, когда речь идет о попытках преодолеть нефизические расходимостей: дескать, давайте просто доведем еще одно пространственное измерение — и будем обходить сингулярности через него. Другими словами, сингулярность трактуется как артефакт, результат проекции чего-то вполне гладкого в полном пространстве на какое-то из подпространств. Достаточно смотреть на вещи шире — и все в порядке. Но можно заранее предсказать, что струнные теории когда-нибудь упрутся в те же трудности: один тип сингулярности всего лишь заменяется другим, более многомерным. То есть, мы теперь не заметаем мусор под ковер — а складываем его на крыше...

В самой сердцевине — старинный философский вопрос о природе и роли дискретности и непрерывности в физическом мире и человеческой деятельности. Нельзя просто отбросить одно из двух: это несводимые друг к другу, взаимно дополнительные аспекты реальности, — и именно так это должно выглядеть в логически последовательном мышлении. На данный момент единственным выходом из положения представляется иерархический подход, объединяющий

¹ Для наблюдателя такое распределение могло бы выглядеть как своего рода электромагнитный форм-фактор; но это не то, на что указывают современные эксперименты.

противоположности как стадии (уровни) развития, так что бесконечности и точки одного уровня развертываются в нечто осмысленное на другом. Выстраивание таких иерархий — естественный процесс, подобный любому другому движению, — но в своей деятельности мы используем (и отражаем в понятиях) только то, что уже ассимилировано, стало частью культуры.

Но пока остановимся на еще одном предрассудке, связанном с черными дырами. Космологи уверяют публику, что черные дыры образуются в результате гравитационного коллапса тяжелых звезд, которые уже выжгли исходный запас водорода и гелия настолько, что тяжесть внешних слоев звезды уже не уравнивается давлением излучения от термоядерных реакций. Утверждается, что звезды с массой выше некоторой критической отметки (около 3–4 солнечных масс) в ходе коллапса попадают внутрь сферы Шварцшильда — и новорожденная черная дыра начинает активно питаться материей и радиацией из окружающего пространства... Специальная литература кишит расчетами такого рода «аккреции»; сама по себе эта схема безоговорочно принимается, а обсуждать допускается только мелкие детали, количественные оценки, которые мы, безусловно, сумеем значительно улучшить в будущих совершенных теориях.

Тут наглый дилетант опять лезет со своими дурацкими вопросами... А кто сказал, что звезды вообще должны коллапсировать? Допустим, в каких-то случаях они именно так себя и ведут: например, в процессе рождения нейтронной звезды, ничего общего не имеющей с космологическими сингулярностями. Но почему мы обязаны принимать за чистую монету прогнозы о нефизических сингулярностях при сжатии звезд с массой выше чандрасекаровского предела? Не логичнее ли предположить, что для таких звезд просто не выполнены предположения модели, и следует, скорее, допустить существование какого-то состояния вещества, которое может выдержать давление сверху и без сверхъестественных существ, вроде смежных миров или кротовых нор.

В качестве намека: посмотрите на обычные каменные дома — солидные конструкции, которые вовсе не намерены схлопываться в кучу мусора, несмотря на очевидный факт, что атмосферное давление внутри дома никак не может противостоять давлению камня, стали и стекла. Более того, мы спокойно обитаем в таких строениях, совершенно не ощущая давления вышележащих этажей — хотя, конечно же, их вес мгновенно сплющил бы нас в лепешку, если бы вся эта конструкция по какой-то причине потеряла равновесие. Возможно это потому, что разные состояния материи по-разному организованы; в частности, твердое тело — это вовсе не то же самое, что жидкость или газ. Распределение давления в твердых телах существенно анизотропно — и полая твердая сфера никак не обязана «коллапсировать» в центр, даже если мы посадим поверх нее какие-нибудь еще массы. Ньютоновская теория гравитации учит нас, что гравитационный потенциал внутри такой сферы в точности равен нулю. Поэтому внутри твердого шара какой угодно массы просто неоткуда взяться избыточному давлению. Наконец, в центре такого шара гравитационный потенциал практически равен нулю.

Теории эволюции звезд поголовно уперлись в представления о газовых шарах, для которых работают законы газодинамики — пусть даже малость подправленные, с учетом релятивистских и квантовых эффектов. Предполагается, что в течение всего процесса эволюции, от рождения до смерти, звезда находится в одном и том же фазовом состоянии. Например, классическая работа Ландау («К теории звезд», 1932) посвящена коллапсу холодного Ферми-газа; но совершенно очевидно, что в процессе коллапса газ не остается холодным (ибо адиабатические процессы — не более чем ограниченная абстракция), и его температура (а значит, и энергия Ферми) после некоторого физического предела начнет стремительно возрастать. Логика коллапса уже неприменима к таким, очень горячим системам — а значит, по всей вероятности, к подавляющему большинству астрофизических объектов. Так зачем нам много шума из ничего?

Как все прекрасно знают из повседневного опыта, даже в одном фазовом состоянии физические системы взаимодействуют очень по-разному. Например, воздух вокруг нас обычно разрежен и неощутим — но он вдруг становится плотным и вязким при ураганном ветре, и ударная волна даже может убить, как твердым предметом. Естественно предположить, что в

условиях очень высокого давления вещество приобретает особую сопротивляемость, умеет противостоять коллапсу. Это куда более разумное предположение, нежели мистическая материализация математических расходимостей. Можно было бы, в качестве одной из возможностей, допустить, что при сильном сжатии вещество может задолго до достижения шварцшильдовского радиуса полностью перейти в излучение, или какое-либо еще состояние, не предполагающее массивных частиц. Этот аналог фотонного газа может потом сжиматься в фотонную жидкость, и даже становиться твердым телом. Да, это не вяжется с какими-то из современных теорий — ну и что? Последние достижения квантовых технологий указывают на возможность создания своего рода связанных (много)фотонных состояний — а это сильно отличается от классической картины пространственно неограниченного фотона. В конце концов, часть гравитации может также превратиться в радиацию — или наоборот, радиация эффективно дает нечто вроде гравитационного отталкивания, противостоящего чрезмерному сжатию. Разумеется, это всего лишь фантастические предположения — но они позволяют осознать бесполезность разговоров о гравитационном коллапсе, черных дырах и тому подобных вещах, когда перед глазами действительная сложность материального мира. Не следует слепо верить всему, что говорят физики. Они поспешат изменить мнение, как только природа чуточку настойчивее выразит свое несогласие.

Если еще иметь в виду возможные обобщения общей теории относительности, свободные от нефизических расходимостей, не остается практически никаких шансов получить черную дыру в ходе гравитационного коллапса. Некоторая надежда сохранить черные дыры в логике может быть связана с такими сверхмассивными объектами как галактические ядра. На сегодняшний день наличие очень компактных массивных объектов в центральных областях некоторых спиральных галактик считается экспериментально установленным. Нечто в том же роде связывают и с активностью квазаров. Допустим на мгновение, что все это не может быть понято без черных дыр. Но как-таки грандиозные массы слепились в малом объеме? Традиционная картина аккреции заметно пробуксовывает. Даже если предположить, что времени жизни галактических ядер достаточно для упаковки нужного количества вещества в черную дыру, ситуация с квазарами выбивается из логики, поскольку эти объекты принадлежат в космологии Большого взрыва к числу старейших, и черные дыры в них просто не успели бы созреть.

Разумеется, на крайний случай всегда в запасе волшебный жезл космических катастроф. В молодой (и более компактной) Вселенной столкновения галактик были бы весьма вероятны — и можно возложить на них ответственность за первые квазары. Конечно, тогда придется попрощаться с гипотезой о генетическом родстве активных галактик и квазаров — но чего не сделаешь ради милых сердцу математических абстракций!

Тут вылезает еще одно соображение... Как всем известно, шварцшильдовский радиус пропорционален массе. Но средняя плотность вещества внутри сферы радиуса r вычисляется как M/r^3 — это означает, что плотности, необходимые для возникновения черных дыр, будут порядка $1/M^2$. То есть, для масс порядка массы метагалактики черные дыры способны образоваться из очень разреженного холодного газа — и не требуется никаких драматических событий. Следовательно, в ходячей теории космологического расширения черные дыры могли бы возникать в большом количестве и на начальном этапе, когда еще не было галактик и звезд. Тогда наша Вселенная должна быть нашпигована черными дырами — образование которых *предшествует* звездной эволюции, а вовсе не является ее результатом.

Хорошо, пусть так оно и было: сначала в молодой Вселенной образуется много черных дыр разного размера, потом они подрастают в ходе космологического расширения и становятся центрами притяжения для окружающего газа, отчего во Вселенной зарождаются галактики и звезды. Это, конечно полная противоположность обычным представлениям — но чем черт не шутит? Кстати, вполне естественно отождествить в этой картине темную материю с газом микроскопических черных дыр, раз в сто тяжелее протона. Теоретику — сплошной простор для воображения.

Но давайте сделаем еще шагочек в сторону вселенской первобытности. Мы тут же натываемся на очевидное заключение, что *вся Вселенная целиком* должна находиться *внутри* черной дыры! Шварцшильдовский радиус тут просто огромен, и не надо уж очень углубляться в сердце протоматерии, чтобы утонуть в прародительнице всех черных дыр. Оказывается, что обычных физических законов тогда вполне достаточно для удовлетворительного объяснения древней динамики. Хорошо сидим. Можно ли выбраться?

В качестве одной из возможностей — иерархия черных дыр: мы все еще в абсолютно всеобщей дыре — но в этих пределах черные дыры помельче можно приписать гравитационному коллапсу. Тогда разумно допустить существование многих черных дыр вселенского уровня, образовавшихся в ходе какого-то супер-коллапса, и так далее... Гротескная картина, которая способна произвести достойное впечатление на публику и стать истоком вдохновения для сотен писателей-фантастов.

Со своей стороны, физик, вероятно, предпочел бы менее экзотическое, хотя и скучноватое для бульварной прессы объяснение. Можно с ходу возразить, что в однородной прото-Вселенной нельзя использовать внешнее решение Шварцшильда, придуманное именно *для пустоты* вокруг гравитирующей массы. Но тогда почему мы имеем право приспособливать ту же теорию к внутренностям звезд? Они что, состоят из чистого вакуума? Зачем нужно интерпретировать результаты наблюдений в терминах формально-математической абстракции, выражающей как раз недостаточность существующей теории, ее ограниченность? Первое, к чему следует стремиться физику, — это устранение нефизических расходимостей; то, как мы это сделаем, сразу же укажет, в каком смысле следует пересмотреть современные представления о ранней истории и судьбе Вселенной.

Несомненно, разделавшись с черными дырами (и с дырявой логикой), мы поймем, что и от пресловутой космологической сингулярности следует отказаться, на тех же основаниях. Идея расширения из ничего — еще один пример некорректной экстраполяции, не имеющей ни малейшего отношения к физическим реалиям: соответствующие решения уравнений Эйнштейна (или их обобщений) применимы лишь к пустому (или практически пустому) пространству вдали от «сингулярности». Очень может оказаться, что само возникновение таких расходимостей в релятивистских теориях связано с сингулярным характером преобразований Лоренца. Когда будущие обобщения устроят эту исконную сингулярность, это решительно раздвинет границы нашей Вселенной, высвободит нас из-за светового барьера. В этой большой Вселенной расширение в одном месте будет дополняться сжатием в другом, и само наличие космологических эффектов окажется связанным с особенностями выбора опорных физических процессов, со способами построения систем отсчета.

Взрослеющая наука понемногу освобождается от вредной привычки приспособливать частную физическую теорию ко Вселенной целиком. Мир больше любых наших фантазий, он всегда будет источником неожиданных открытий в любой области — включая физику. Как сознательные существа, мы должны в конце концов осознать и это.

Наблюдатели, время, измерение скорости

Сегодня все железно знают: скорость света не зависит от движения источника и одинакова в любой системе отсчета. Этот факт, вроде бы, подтвержден точнейшими экспериментами и все больше утверждается благодаря концептуальной стройности и впечатляющим успехам современной физики (которая, понятно, целиком основана на этом положении). В качестве прямого следствия — невозможность ускориться до скоростей выше скорости света, так что приходится учитывать тесную взаимосвязь пространства и времени, несмотря на дискомфорт, связанный с различием видимого облика мира для разных наблюдателей. Бесспорно, классическая картина одинаковых для всех и совершенно независимых друг от друга пространства и времени была проста и привлекательна. Но на то и наука, чтобы следовать за хитросплетениями природы, какими бы дикими ни казались они неразвитому уму...

И все же никто не запрещает нам задуматься: почему? Например, в древности люди просто принимали как физический факт регулярное движение светил по небу — и приспособивали технологии измерения времени к этому объективному обстоятельству. Характерные периоды такого обращения следовало должны были играть роль фундаментальных констант — и такой подход одинаково хорошо работал и в птолемеевской, и в коперниканской модели. Значительно позже сэр Исаак Ньютон показал, что практически все это возможно вывести из гениально простого закона притяжения, которое торжественно назвали всеобщим тяготением — просто ради того, чтобы как-то обозначить вещи, которых мы пока не понимаем. Теории поновее иногда допускают, что гравитационная постоянная (и прочие нынешние фундаментальности) могла бы получаться из каких-то более общих соображений. Почему, собственно, мы обязаны считать скорость света чем-то особенным? Давайте присовокупим ее ко всему остальному.

История видела много споров по поводу отношения физики к реальности. Совершенно очевидно, что наши понятия отражают лишь то в мире, что каким-то образом уже участвует в нашей практической деятельности, и нам, по большому счету, дела нет до теорий чего-то за гранью (хотя бы мысленной) достижимости. Важно помнить, что люди занимаются не только познанием природы; более того, познание — сугубо вспомогательное занятие, обслуживающее наше главное стремление: преобразовать мир, сделать его таким, как это нужно нам. Но это хорошо заметная практичность познания приводит кое-кого к логически ошибочному выводу: некоторые господа уверяют нас, что в мире вообще не существует ничего, кроме человеческой деятельности, и что природу в целом следует воспринимать как артефакт, следствие нашего активного отношения к миру. В очень узком смысле, они правы — если замкнуться в настоящем, ограничить себя уже достигнутым и ни в коем случае не мечтать о лучшей доле. Но стоит только заметить в наших делах минимальное развитие — встает вопрос об источнике обновления (если, конечно, не объявлять заранее все на свете игрой чьего-то воображения). Естественно допустить, что мир гораздо богаче всего, с чем мы сталкивались до сих пор, — и будущее неизбежно подарит нам новые, неожиданные встречи. Но этот «мир сам по себе» — тоже не статичен, и потому наш опыт будет прирастать не только экстенсивно, за счет освоения разных областей Вселенной, но и в интенсивном плане — благодаря естественному изменению того, что мы уже знаем. А значит, у нас никогда не будет «полной» картины мира — всегда есть шанс что-то добавить или изменить. Для некоторых — это жестокое разочарование; другие порадуются нескончаемой забавности бытия.

Вот так и наши идеи пространства и времени всецело и необходимо определяются кругом доступных на данный момент деятельностей. В старые времена представления были другими — и постепенно менялись от хаоса разрозненных окрестностей до классической механической картины единого пространства и всеобщего времени как раз и навеки данных универсалий. Когда мы склеиваем пространство и время воедино путем введения новой фундаментальной константы, скорости света, мы в какой-то мере воспроизводим (на другом уровне) первобытные идеи пространства как развертывание во времени и времени как характеристики пространственного расположения наблюдаемых вещей. Очевидное следствие: чтобы понять взаимозависимость как частное проявление чего-то более универсального, в нашем распоряжении должно быть еще как минимум одно «пространство-время», устроенное по какому-то другому принципу. В развивающемся мире постоянство скорости света может оказаться лишь локальным эффектом, связанным с ограниченностью имеющихся средств наблюдения или с определенной стадией развития Вселенной. То есть, даже при нынешних технологиях, есть вероятность выявления аномалий — либо на протяжении достаточно длительного времени, либо где-то очень далеко. Если же предположить, что релятивистская модель пространства-времени — артефакт принятых методов измерения, можно надеяться, что нетрадиционные схемы наблюдения обнаружат поведение совсем другого рода. Ну и, как обычно, плюс любые возможные комбинации.

Поскольку сказать что-либо осмысленное по поводу неожиданного мы вряд ли сможем, давайте хотя бы приглядимся к тому, что уже есть. Сама идея движения — это уже нетривиально, поскольку приходится совместно рассматривать два последовательных состояния системы,

соотносить их друг с другом как «предшествующее» и «последующее». Но как можно сравнивать вещи, одна из которых уже исчезла, а другая еще не появилась? По-видимому, есть нечто третье, к чему относятся и начальное, и конечное состояние, и что не меняется вместе с ними — а потому может служить их общей мерой. Другими словами, абсолютно локальный наблюдатель, расположенный здесь и сейчас, не увидит никакого движения; все, что ему доступно, — зарегистрировать состояние системы в данный момент. Хуже того, даже регистрация текущего состояния становится проблематичной, ибо нет способа отличить его от предшествующих или последующих (или даже просто сопоставить с ними).

Этот аргумент по видимости противоречит фундаментальному предположению, лежащему в основе теории относительности, — локальности наблюдателей (взаимодействий). Объясняя «парадоксы» теории относительности, обычно указывают, что сравнивать мы можем только события, происходящие в одной точке пространства. Но если при этом принимается положение о принципиальной неразделимости пространства и времени, само понятие «одна и та же точка пространства» противоречит заявленной ковариантности, требуя выделенной системы отсчета. Но, очевидно, требование ковариантной локальности (по отношению к пространству-времени в целом) устраняет всякое движение вообще. Это объясняет неодолимую тягу к чисто геометрическому видению мира, обычную у физиков-теоретиков. Мир, в котором ничего не происходит, где все уже есть и ничего не предполагается изменять... Но идея такого статического мира есть выражение крайней нелокальности, расширяющей наблюдателя до размеров пространства-времени целиком. Или наоборот: предполагается, что пространство-время целиком содержится *внутри* единственной точки-мгновения — то есть, это чисто *внутреннее* состояние абсолютно локального наблюдателя, никоим образом не связанное с происходящим во всем остальном мире.

Чтобы наука стала хоть сколько-нибудь осмысленной, следует принять *иерархическое* представление о локальности: локальность внешнего движения (локальность взаимодействий) предполагает существенно нелокальное внутреннее движение, что позволяет «метить» внешние события, соотнося их с разными внутренними состояниями. То есть, локальный наблюдатель отображает все акты взаимодействия с окружающим миром в свое внутреннее пространство (взятое сразу и целиком — но, возможно, включая какие-то статические аналоги временного измерения). Полученная таким образом структура *представляет* внешний мир в данной конкретной *системе отсчета*.

Разумеется, ничто не мешает иметь много уровней иерархии — и эта иерархическая структура не обязана быть одинаковой для разных проявлений той же физической системы. Наблюдатель (система отсчета) при этом оказывается столь же иерархичным, и его локальность или нелокальность имеют смысл только по отношению к определенным уровням иерархии. То есть, при таком подходе локальность относительна, как и все остальное.

Природная выстроенность внешних событий будет индуцировать соответствующие иерархические структуры во внутреннем пространстве наблюдателя (в представлении). Очевидно, эти структуры будут также зависеть от способа отображения, который в конечном итоге определен доступными формами деятельности. В силу этого внутренние модели внешнего мира могут иногда не соответствовать реальному строению предмета (области физики), что делает их громоздкими или двусмысленными. Практика так или иначе вынуждает нас приводить наши понятия в соответствие объекту (и продукту) деятельности; когда на это специально обращают внимание, познание может обособиться в особую деятельность. Разумеется, в физике мы не имеем права ссылаться на какие-то акты сознания: наблюдатель здесь — лишь условное именование системы отсчета, связанной с тем или иным физическим объектом (реальным или виртуальным), который предполагается существующим достаточно долго, чтобы выделить его в нечто самостоятельное, отличить от других вещей. Другими словами, мы говорим об «объектах-наблюдателях», в которых отражены другие объекты. Поскольку в качестве такой опоры может быть взят практически любой объект, для каждого «наблюдателя» мир выглядит по-своему, и различия вполне регулярны, поскольку они определяются (физической) природой объекта-

наблюдателя (то есть, физикой «наблюдения»). Принцип относительности в столь общей форме справедлив для любых физических систем, не обязательно одного типа. Один и тот же физический мир оказывается представлен многообразными физическими картинками, которые можно сопоставлять друг с другом. Так, кинетическое описание термодинамических свойств допустимо трактовать как переход от одного уровня описания к другому, в пределах одной иерархической структуры. В общем смысле, понятие инерциальной системы отсчета указывает на все системы отсчета в пределах *того же уровня иерархии*. В этом случае разные наблюдатели будут вырабатывать похожие представления о физическом мире — тогда как переходы между уровнями требуют модификаций в описании динамики (например, добавление или устранение взаимодействий и симметрий).

Каждый тип внешнего движения во внутреннем представлении порождает характерные структуры: например, наблюдатель прослеживает *траектории* (следы внешнего движения), выстраивая последовательности событий. В общем случае траектория не обязана быть гладкой, без петель и самопересечений; более того, она может быть хаотической или расплывчатой — так что физические процессы представляются пучком траекторий, а не единичным четким следом. В любом случае, однако, имеется выделенное направление, различие настоящего и прошлого: можно указать, какая часть событий произошла до некоторого момента, а какая после. Такое разбиение может быть очень нетривиальным, поскольку настоящее («текущий момент») само по себе иерархически организовано. В любом случае, траектория разворачивается в иерархическую структуру, в которой уровень настоящего лежит «выше» уровней прошлого, но «ниже» уровней будущего (если речь идет о развитии или эволюции) — или наоборот, прошлое понимается как образ более высокого уровня (если восстанавливать историю чего-то, искать причины). Такая относительность прошлого и будущего приводит к идее изотропности физического времени.

Помимо изотропности, часто предполагают еще и однородность времени. Так, физическая система (наблюдатель) вряд ли сможет запечатлеть то, чего еще не было, — и потому внутреннее пространство наблюдателя естественным образом ограничено: в нем отображен только опыт прошлого. Всякая траектория в пространстве представлений должна обрываться на «настоящем моменте», и все, что нам доступно, — только воспоминания. Но если в движении есть некоторая регулярность (обозначаемая термином «однородность»), мы можем условно сместить текущее положение на любой из предшествующих моментов времени — а по отношению к этому моменту есть как прошлое, так и будущее. В более общем плане, однородность не накладывает никаких ограничений на характер движения, и единственное, что нам нужно, — возможность упорядочения: *на одной и той же траектории* одно из двух событий происходит прежде другого, безотносительно к выбору точки отсчета. Итак, для каждой «точки» прошлого на траектории, имеется некоторое продолжение — и мы не можем ничего сказать о его протяженности на основании локальных наблюдений. Фотон не знает, что мгновение спустя он будет поглощен атомным электроном, а текущее состояние электрона не предполагает каких-либо последующих изменений (или аннигиляции). В этом смысле однородность времени делает его *локально бесконечным* (продолжаемым по однородности); разумеется, разного рода «катастрофы» (конец одного трека и начало другого) нарушают однородность и делают время относительно ограниченным. Поскольку же все на свете объекты конечны, их всегда ждет «конец времени»: реальные вещи (наблюдатели) не живут вечно, и соответствующие системы отсчета всегда заключены в определенных границах. Однако в *локальной* картине каждая система отсчета существует всегда. Формально, всякая сингулярность указывает на событие более высокого уровня, переход от одной локальной картины к другой с учетом глобального движения. Понятие однородности очевидным образом распространяется и на пространство — с той же диалектикой бесконечности и сингулярностей.

Вообще говоря, траектория во внутреннем пространстве наблюдателя не предполагает никакой меры времени — это всего лишь последовательность событий. Однако уже эта элементарная иерархическая структура ведет к идее *перехода* от предшествующего состояния к последующему, сколь угодно близкому. Переход *не* принадлежит пространству представлений;

однако он может иногда быть *представлен* в нем — например, некоторым промежуточным состоянием. Мы говорим, что переход есть элемент более высокого уровня — а *состояние* внешнего движения представлено иерархией внутренних переходов. В простейшем случае механического перемещения материальной точки это может выглядеть как переход из одной пространственной точки в другую; такие переходы представляются векторами смещения (элементами касательного пространства). В квантовой механике мы имеем дело с переходами между точками конфигурационного пространства, которым формально сопоставлены особые операторы. Треки событий и последовательности переходов часто можно рассматривать как взаимно заменимые (дуальные) представления одного и того же внешнего движения; однако эта дуальность имеет место лишь в областях однородности, а наличие сингулярностей (глобальных событий) делает эти два уровня существенно различными.

Итак, некоторое внешнее движение представлено для наблюдателя статичным образом, как треков пространстве представлений (системе отсчета). В силу однородности мы можем говорить о времени как локальном упорядочении — но у нас нет пока ни малейшего понятия о *длительности*, которая по сути своей нелокальна, ибо требует, как минимум, сопоставления разных точек в пределах одного трека. Возникает искушение связать длительности с переходами, которые, вроде бы, тоже связывают разные точки траектории. Однако эта программа не работает, поскольку переходы дают лишь *пространственную меру* (или *расстояние*), характеризуя различие событий как таковое, а не темп перемен. Единственный выход — сравнить один трек с другим, который в данном случае будет играть роль *часов*. Но это означает, что надо надстроить еще один уровень иерархии, позволяющий глобальным образом сопоставлять существенно разные последовательности физических событий в рамках выбранной системы отсчета.

Как только события на некоторой траектории сопоставлены событиям часов — расстояние между этими опорными событиями (отметками времени) может служить мерой времени, прошедшего между соответствующими событиями интересующего нас движения — а это уже нечто вроде длительности. Если теперь сопоставить расстояние между наблюдаемыми событиями с отвечающей им длительностью (расстоянием между метками времени), мы получим меру темпа изменений — в частности, в механике так возникает идея скорости.

Но чтобы эффективно служить измерению времени, опорный процесс (часы) должен протекать на ином уровне иерархии (в другой временной шкале); в этом случае интерференция с событиями наблюдаемой траектории будет минимальна. В самом деле, если два процесса разворачиваются параллельно, можно трактовать пару наблюдаемого события + отметка времени как одно составное событие; физически такой параллелизм означает связывание цепочек событий за счет взаимодействия, либо присутствие еще одного уровня иерархии, на котором такая синхронизация выглядит как коллективный эффект.

Акт сопоставления событий на траектории с отметками часов формально разрушает однородность. Такое добавочное взаимодействие вводит характерную сингулярность, что, в общем случае, искажает физическую картину. Но если часы (которые в данном случае выглядят как последовательность сингулярностей) реализованы на другом уровне иерархии, искажение одинаково присутствует в любой точке наблюдаемого движения — и однородность оказывается эффективно восстановленной.

Одна система отсчета может быть оснащена несколькими часами, каждые из которых задают особую меру времени. Но если все эти часы служат для разметки одного и того же физического процесса, их ход естественным образом координируется. Но разные часы можно использовать для разных процессов — и тогда синхронизация, вообще говоря, не возникает, так что такие процессы оказываются в данном представлении вообще несопоставимыми.

Подчеркнем еще раз: в физике наблюдатель не сопоставляется с какими-либо разумными существами; это лишь физический процесс, один из многих. Время возникает как результат взаимосвязи различных процессов, каждый из которых может стать часами для другого. В сильно связанных системах времени нет. Только при очень слабых взаимодействиях, не разрушающих характера движения на данном уровне иерархии, возможно описание в терминах времени.

В общих чертах, длительность физического процесса определяется как количество отметок времени (актов измерения) между начальной и конечной точками. Разумеется, для очень тесно расположенных отметок часов (в пределе непрерывного зондирования) следует использовать соответствующую плотность. В таком контексте часы выглядят как некоторый периодический процесс (хотя его период может казаться сильно плавающим при сравнении с другими часами). Чтобы перейти к такому абстрактному отсчету, отметки времени должны казаться совершенно идентичными — и при этом хорошо различимыми событиями часов. Противоречие снимается, если рассматривать *иерархические* часы, в которых циклы нижнего уровня (интервалы между последовательными отсчетами) помечены фазами цикла более высокого уровня, который, в свою очередь, по отношению к следующему уровню выглядит последовательностью нумерованных циклов воспроизведения. Внутри каждого цикла последовательность его различных фаз производит впечатление одномерного течения времени. Более того, пока мы работаем в рамках одной иерархической структуры (набора возможных временных шкал), направление от низших к высшим уровням порождает еще одну одномерную структуру, что эффективно «склеивает» ход часов разного уровня в единое, универсальное время, вроде того, что мы находим в физике. Однако исходно измерение времени привязано к циклическому (колебательному) движению — поэтому в физике мы не можем выходить за рамки одной временной шкалы, чтобы события часов оставались физически различимыми. Когда смешиваются фазы нескольких циклов, мы либо переходим к статическому описанию, либо ищем часы более высокого уровня, позволяющие развести разные циклы исходной шкалы по разным «листам» (или «ветвям»), разделенным специфическими сингулярностями (разрезами).

С философской точки зрения, парадигма иерархического времени, которое сводимо к простому линейному течению только внутри периода более высокого уровня, есть одно из выражений целостности мира. Поскольку мир только один, и никаких других миров быть не может (хотя бы потому, что в этом случае их следовало бы рассматривать как части или стороны одного, единственного мира), всякое движение в конечном счете оказывается одним из актов воспроизводства мира в целом (хотя для живущих в этом мире существ такой акт может выглядеть бесконечностью). В этом всеобщем смысле всякий процесс оказывается циклическим, повторяющимся. На высшем уровне, любое взаимодействие есть взаимодействие мира с самим собой, а всякое изменение — только внутри целого, так что мир воспроизводится заново, в каком-то другом проявлении. По отношению к миру в целом более высокого уровня иерархии просто нет, и потому все акты его воспроизводства физически неразличимы, так что понятие времени (равно как и причинность, и т. д.) в отношении мира в целом не имеет смысла.

После столь обширных заметок на полях, вернемся к простому механическому движению. В каждой системе отсчета наблюдатель может пометить внешние события моментами внутреннего времени (которое вовсе не обязано быть одним и тем же для всех наблюдателей). Если имеется некоторый пространственно организованный процесс, его можно использовать для разметки пространственных шкал — локальной координатной системы. Например, рассмотрим сигнал, распространяющийся со скоростью c_0 в системе отсчета каждого наблюдателя. Мы предполагаем, что пространство однородно и изотропно, так что скорость опорного сигнала одинакова в каждой пространственной точке и в любом направлении. У нас, ведь, все равно нет никаких средств для обнаружения неоднородности или анизотропии — сравнивать-то не с чем! Пусть теперь бесконечно много наблюдателей (или клонов одного и того же наблюдателя) расположены в разных пространственных точках, и неподвижны по отношению друг к другу — этот коллектив, в сущности, и представляет собой некоторую реализацию системы отсчета. Каждый наблюдатель информирует остальных о любом локальном событии, посылая некий стандартный сигнал (вообще говоря, разный в зависимости от типа события). В этом случае расстояние от текущего наблюдателя (начало системы отсчета) до любого другого измеряется временем (отсчитанным по внутренним часам текущего наблюдателя), требуемым для прохождения сигнала. Так, можно заранее промерить свое внутреннее пространство, посылая сигнала из начала отсчета и получая отклики от всех клонов, оказывающихся на пути. Разница

во времени $2\Delta t_0$ будет тогда отвечать расстоянию $x_0 = c_0 \Delta t_0$. Для удобства допустим, что все это как-то закодировано в сигнале (различие в амплитуде, частоте или фазовых сдвигах) — и тогда сигнал, приходящий от удаленного наблюдателя несет информацию о его пространственном местонахождении. Аналогично можно синхронизовать часы в пределах данной системы отсчета. Другими словами, текущий наблюдатель (который по-прежнему сидит в начале координат) может собирать данные об удаленных событиях, помеченные соответствующей координатой и глобальной отметкой времени.

Так текущий наблюдатель (в сотрудничестве с разбросанными по пространству коллегами) готовит себя к описанию механического движения. Пусть некоторый объект проходит мимо текущего наблюдателя в момент времени $t = 0$; по мере того, как этот объект проходит одну пространственную точку за другой, текущий наблюдатель получает сигналы с запаздыванием $\Delta t_0 + \Delta t$, что позволяет определить скорость внешнего движения как

$$v = c_0 \frac{\Delta t_0}{\Delta t}.$$

Таким образом, возможны измерения скорости только в единицах скорости опорного сигнала c_0 , и никак нельзя извлечь абсолютные величины, пока другой опорный сигнал не даст независимую меру. То же самое можно сказать и о любом другом наблюдателе, который движется по отношению к исходному с постоянной скоростью v : в его собственной системе отсчета стандартный сигнал распространяется с той же скоростью c_0 , и все остальные скорости измеряются только по отношению к стандартному сигналу.

Отсюда несколько важных следствий. Так, измерение скорости осуществимо лишь при $v < c_0$ — в противном случае движение будет выглядеть скачкообразным, приближаясь к стохастическому, так что вместо движущейся частицы наблюдатель увидит статистическое распределение. Очевидным образом, шкалы пространства и времени, привязанные к стандартной скорости c_0 уже не позволяют различить детали движения, и требуется переход к иному уровню описания. Здесь полная аналогия с общеизвестным обстоятельством, что для разрешения спектральных структур требуется зондирование излучением меньшей длины волны (большей энергии).

С другой стороны, поскольку скорости измеряются в единицах стандартной скорости, придется изменить закон сложения скоростей, чтобы нормировать сумму на ту же самую фундаментальную константу c_0 ; при любом выборе, простое арифметическое сложение уже не пройдет. Действительно, система отсчета — это внутреннее пространство наблюдателя, и другие не могут узнать о его внутреннем строении иначе как путем обмена сигналами через внешний мир. Поскольку же скорость всегда измеряется по отношению к данной системе отсчета, это сугубо внутренняя величина, которую было бы нелогично напрямую складывать со столь же внутренними величинами в других системах отсчета. Надо сначала преобразовать внутреннюю величину в некоторый внешний эквивалент, а потом привести его к параметрам другой системы отсчета, получив тем самым величину, которую можно складывать с другими скоростями, измеренными в той же системе. Вообще говоря, это преобразование очень нетривиально, ибо строение разных систем отсчета может различаться. Хотя некоторое соответствие (связанное с совместным рассмотрением различных наблюдателей) требуется в каждой конкретной ситуации, методы измерения могут существенно влиять на результат. Обычный релятивистский закон сложения скоростей дает

$$u = v + u_0 \frac{c_0^2 - v^2}{c_0^2 + u_0 v},$$

где u_0 есть скорость тела для наблюдателя, движущегося относительно исходного с постоянной скоростью v . То есть, чтобы стало возможным сложение скоростей, мы должны довольно хитрым образом преобразовать величину, измеренную движущимся наблюдателем.

Такая косвенная взаимосвязь разных систем отсчета напрямую связана с постоянством скорости света. В самом деле, поскольку мы измеряем скорости только в единицах скорости опорного сигнала (сегодня для нас это скорость света), распространение опорного сигнала в любой системе отсчета представлено движением с единичной скоростью, безотносительно к тому, чему эта скорость равна во внешнем мире. Даже если сигнал, испущенный внешним (движущимся) наблюдателем несет информацию о координатах и времени его испускания, все величины, полученные в другой системе отсчета перед любыми сопоставлениями должны быть предварительно преобразованы в шкалы текущего наблюдателя, а это эффективно восстановит равенство скорости опорного сигнала единице — ценой отказа от единого понимания пространственного совпадения и одновременности.

Релятивистская физика будет оставаться безусловно справедливой и подтверждаться на опыте, пока мы ограничиваемся «ковариантными» взаимодействиями, заранее привязанными к распространению света. Эта абсолютная правильность обеспечивается логическим кругом в каждой интерпретации. С другой стороны, пока мы варимся в своем релятивистском мире, мы даже не знаем, где искать физические эффекты, нарушающие наложенные видимым постоянством скорости света симметрии. Может даже показаться, что обнаружить такие аномалии вообще нельзя, и что мы вынуждены вечно (в соответствии с нашим локальным представлением о вечности) оставаться ковариантными, оставляя все прочие возможности каким-то иным гипотетическим существам вне нашей наблюдаемой Вселенной. Философия унизма, утверждая всеобщую познаваемость мира и способность разума охватить любые его стороны, внушает крепкую надежду на новые открытия. Очень может оказаться, что пост-релятивистская физика всюду вокруг нас — а мы просто еще не умеем это осознать.

От мудрости до безумия

Философы испокон веков умели досаждают ученым идиотскими вопросами. Почему-то их никогда не устраивают простые ответы, вроде: «А, но это ведь тривиальное свойство квазиголоморфных сверток пучков алгебр Кэли над фильтрами остаточных катастроф в байесовском пределе!» Нет же, они норовят спросить еще что-нибудь: «А почему, собственно, Вы полагаете, что тут потребуются именно алгебры Кэли?» — «Да потому что оболочки соответствующих категорий октонионзначны, это же общеизвестно!»

Ученые — народ прагматичный и ответственный. Им столько всего предстоит открыть — и еще больше предсказать! Ученые придумали много полезных инструментов, благодаря которым фундаментальные исследования продвигаются вперед семимильными шагами: теперь не надо каждый раз начинать с нуля, а можно опереться на все те же, давным-давно установленные принципы, основное внимание приберегая для практически важных частных случаев в результатах наблюдений. Стремительное развитие и впечатляющие успехи науки во многом связаны с этой способностью аккумулировать опыт по экспоненте.

В философии — ничего подобного. Вместо того, чтобы принять вещи такими как они есть и понемногу расширять круг уже освоенного, философы упорно доискиваются до скрытого смысла и задумываются о последствиях. Вместо того, чтобы полагаться на уже понятное и переходить к более сложным задачам, они предпочитают даже хорошо знакомое обсуждать от первых оснований, вплоть до полной переработки философской системы — как будто раньше ничего не умели! Вместо прямых и однозначных суждений — расплывчатые иносказания. Философы избегают ответов — они заняты исключительно спрашиванием. Вот и приходится серьезным людям отвлекаться от обсуждения антропных ландшафтов в 13-мерной бране, чтобы, при помощи отчаянной жестикуляции, донести сколько-нибудь общую мысль до тех, кто ни грана не смыслит в основах супергравитации и не может отличить цис-вариацию от трансмутации.

Всякий курс теоретической физики начинается с краткого изложения вариационных принципов, из которых выводятся уравнения движения и общие свойства динамики. Это прочно укоренившаяся практика — и нет ни малейшего повода усомниться в универсальной применимости и плодотворности такого подхода. Физики работают с этим уже несколько столетий. Для невежественного философа — вариационные технологии в физике навсегда останутся непостижимой тайной, техническим трюком, недоступным разумному осмыслению. Почему, дескать, мы должны верить в устойчивость действия по отношению к бесконечно малым вариациям? Примитивные, почти анимистические пояснения отцов-основателей аналитической механики уже не удовлетворяют современного человека (если это, конечно, не физик). Тупое постулирование фундаментальных принципов даже в математике выглядит некрасиво — поэтому математики вновь и вновь пытаются ковырять основания их науки в поисках вкусных неожиданностей. Так почему? Есть ли в вариационной методике собственно *физический* смысл? Только тогда можно было бы считать это научным подходом, а не околонуучным предрассудком. Что если нам надо уйти от стационарной картины движения к чему-то эволюционирующему? Существует ли динамика более высокого уровня в переходах между различными стационарными мирами?

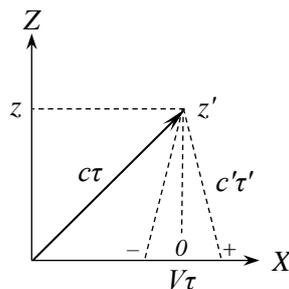
Частный вопрос о применимости вариационных принципов тянет за собой проблему допустимых вариаций. Традиционно, движение в физике понимается пространственным образом (хотя бы и в многомерном конфигурационном пространстве); мы варьируем положения, скорости и ускорения движущихся «точек». Однако описание всякой физической системы предполагает набор физических *параметров*, которые из общей вариационной схемы исключены — хотя их изменение может существенно изменить характер движения. Например, классическая механика оставляет неприкосновенными массы частиц; мы также не говорим о варьировании фундаментальных констант связи (которые в свете бесчисленных ренормализаций выглядят не такими уж и фундаментальными). Но природа вовсе не обязана, ради нашего удобства, блюсти неизменность структур. Буквально *все* физические величины могут меняться в реальном движении — и потому допустимо включить их в число варьируемых характеристик теоретической модели. Мы можем дойти до предела наглости и допустить возможность варьирования «вечных» математических констант, вроде π или e . Почему бы и нет? Математика абстрактным образом выражает нашу привычку вести себя в мире некоторым определенным образом; когда дело дойдет до пока неведомых сторон действительности, придется приноровить свои действия к этому новому миру, и в частности, наши представления о математике могут стать другими.

Наконец, всякий вариационный принцип (хоть в дифференциальной, хоть в интегральной формулировке) существенно *нелокален*. Сама возможность сопоставить единовременно взятые траектории (сколь угодно инфинитезимальные) предполагает, что они присутствуют *как целое* в некоторой системе отсчета. Можно лишь удивляться, как мы умудряемся выводить локальные физические теории из подобных нелокальных рассуждений. Возможно, это возражение не очень заботит классическую механику (где понятие одновременности ничем не ограничено). Точно так же, квантовые теории нелокальны по самой своей сути, ибо их конфигурационное пространство целиком присутствует в каждом акте взаимодействия. Однако релятивистская физика заставляет сильно сомневаться в правомерности сопоставления точек пространства-времени, разделенных пространственноподобным интервалом. Что-то тут не так с логикой. С этим связан (может быть, не столь болезненный) вопрос о возможности релятивистской термодинамики. Всякая статистическая теория зиждется на (хотя бы принципиальной) сопоставимости частей целого, независимо от их пространственно-временного размежевания. Последовательно релятивистская статистика должна, следовательно, заниматься лишь сравнительно компактными системами, где любые изменения происходят достаточно медленно по сравнению со временем релаксации; в противном случае локальные движения нарушили бы целостность системы и нельзя было бы говорить о сколько-нибудь устойчивой статистике. Но это условие, по-видимому, совпадает с требованием медленного, нерелятивистского характера внутренних движений. То есть, придется

комбинировать разные уровни движения: либо релятивизм «вложенный» в классическую систему, — либо, наоборот, релятивистское движение внутренне классического целого.

Добавим к этому охапку глупых вопросов о системах отсчета в теории относительности. Например: какова природа системы отсчета? Соотносится ли система отсчета с наблюдаемой физической реальностью? Или это чистейший артефакт, условное выражение того, как мы обходимся с миром в нашей повседневной жизни? Другими словами, принадлежит оно физической системе — или наблюдателю? От решения этого вопроса зависит возможность устроить систему отсчета тем или иным образом. Например, в последнем случае все системы отсчета возможно поместить в одну-единственную, и тогда они оказываются заведомо сопоставимыми. Обратное, нет никаких доводов в пользу сходства строения систем отсчета, ассоциированных с различными физическими системами, хотя бы и одного вида. Разумеется, промежуточные варианты тоже не исключены.

В частности: обязательно ли предполагать ортогональность пространственных осей во всех системах отсчета? Если считать системы отсчета личным делом наблюдателя, способом организации его наблюдений, — универсальная ортогональность (или хотя бы принципиальная приводимость к ней) кажется вполне разумным выбором, характеристикой наблюдателя (по сути, элементом культуры), безотносительно к объективному (физическому) процессу. Правда, тогда придется задуматься о содержательности понятия относительного движения: в самом деле, индивидуальные системы отсчета скрыты внутри каждого наблюдателя и напрямую не сопоставимы: один наблюдатель не может знать, что творится в душе другого. И наоборот, если оси координатной системы возникают естественным образом (например, как результат движения наблюдателя или какой-либо иной физической системы), их положение может меняться в зависимости от взаимного движения (и взаимодействия) систем отсчета. Пусть, например, наблюдатель (система отсчета) S' движется по отношению к наблюдателю S вдоль оси X (общей для обоих наблюдателей — с точностью до произвольного смещения начала отсчета) с некоторой скоростью V ; далее, пусть наблюдатель S' выстраивает свою ось Z' как траекторию распространения стандартного (пробного) сигнала, распространяющегося с некоторой скоростью c' перпендикулярно оси X' . Для неподвижного наблюдателя S распространение пробного сигнала (возможно, с какой-то другой скоростью c), вообще говоря, не будет перпендикулярно его оси X — как показано на рисунке:



Когда пробный сигнал прибывает в точку z (через τ секунд или миллиардов лет), положение движущегося наблюдателя на оси X в системе S будет зависеть от соотношения скоростей c и V . В традиционной теории относительности подразумевается, что начало отсчета системы S' в системе отсчета S окажется в точке 0 прямо под точкой назначения — так что наблюдаемое направление оси Z' всегда остается перпендикулярным наблюдаемому направлению оси X' . Однако почему бы не допустить, что видимое положение наблюдателя S' отстает от пробного сигнала, и попадает в точку $(-)$, — или наоборот, опережает сигнал и попадает в точку $(+)$? Тогда, очевидно, оси координат движущегося наблюдателя уже не будут ортогональны друг другу в неподвижной системе отсчета.

Разумеется, эти пустые спекуляции не имеют ничего общего с физикой, поскольку справедливость теории относительности подтверждена немеряным количеством экспериментов, так что и обсуждать тут нечего. Но философ все равно спросит: а почему?

Еще один философский идиотизм ставит под вопрос корректность хорошо известного преобразования Лоренца. Казалось бы, есть непоколебимый экспериментальный факт — независимость скорости света от движения источника. Из этого все железно следует. Что тут непонятного? Но философ, присмотревшись к процедуре сопоставления движущейся и неподвижной систем отсчета, начинает недоумевать: каким образом предположительно гладкое преобразование от одной системы к другой вдруг оказывается сингулярным и эффективно делит все пространство-время на взаимно изолированные области? Мы, ведь, исходно предполагали, что в каждой из систем пространство-время дано целиком, и никакие его точки из рассмотрения не исключены. А если запереть наблюдателя в световой конус, каким образом он вообще может судить о существовании чего-то вне его пределов? Да еще приписывать этому какие-то координаты. Даже если мы считаем, что полное пространство-время спрятано в каждой точке физического пространства-времени (то есть, внутри наблюдателя), нам все же придется озаботиться приклеиванием этого внутреннего уровня ко всем точкам физического пространства (многообразия); но столь глобальная конструкция, даже в сугубо локальной интерпретации (внутри каждой точки), никак не вяжется с релятивистской ковариантностью. Само существование трех пространственных измерений при таком раскладе оказывается крайне проблематичным.

Чтобы еще больше всех запутать, философ возражает и против того, чтобы постоянно явно нековариантной конструкции (трехмерная скорость) закладывать в основание полностью ковариантной (релятивистской) теории. Ему кажется, что фундаментальные параметры теории следовало бы определить в соответствии со строением этой теории. А величина, которой не свойственно сохраняться при переходе от одной системы отсчета к другой, недостаточна физична, чтобы играть роль фундаментальной константы. Хотя мы всегда можем подкрутить закон сложения скоростей так, чтобы сделать именно такое значение скорости инвариантным, выглядит это как решение *ad hoc*, оставляя в глубине души место для сомнений: а вдруг есть более последовательные возможности?

С логической (философской) точки зрения, сингулярность преобразования Лоренца никоим образом не означает невозможности двигаться быстрее света. Да, мы (пока) не можем преодолеть световой барьер; но почему некто (или нечто) не может перемещаться быстрее света по отношению к земному наблюдателю? В его собственной системе отсчета оно покоится, и ничто не мешает ему жить полноценной физической жизнью. Для такого гипотетического наблюдателя человечество не существует (поскольку движется быстрее света); но есть много других вещей, которые относительно него движутся с нормальными (досветовыми) скоростями, так что возможно говорить и о наборе движущихся относительно друг друга наблюдателей, наподобие того, как мы представляем себе строение нашего, человекообразного мира. Тогда мир в целом превращается в некую ячеечную структуру, где каждая ячейка изолирована от других световым барьером, но во всем остальном (во внутреннем движении) это заурядная физическая реальность. Поскольку основной вопрос философии — о единстве мира, единство такой ячеечной Вселенной по логике должно устанавливаться посредством некоторого особого взаимодействия, которое обеспечивает представленность всех ячеек в физике каждой из них; с релятивистской точки зрения, это взаимодействие оказывается существенно нелокальным. Очевидный кандидат — обменные эффекты квантовой физики. Так, если все электроны физически эквивалентны, и каждый можно заменить любым другим, все электроны разделенного на ячейки мира должны объединиться в едином антисимметричном коллективном состоянии; так обменные эффекты связывают один ячеечный мир с другим. В этой картине световой барьер вполне подобен любому иному квантовому барьеру, и любая частица может проникнуть сквозь него с некоторой вероятностью. Ничто не мешает нам предвосхищать и другие кросс-барьерные взаимодействия.

Природа пространства и времени интриговала философов тысячи лет. Чего только не изобрели они, чтобы вывести общеизвестные факты из голых абстракций! Так, например, размерность пространства оставалась среди их излюбленных «заковыристых» тем — пока

физики не положили конец дальнейшим спекуляциям, заявив, что никакой определенной размерности вовсе нет, и что можно подбирать количество пространственных измерений на свой вкус, чтобы очередная теория всего приводила к минимально правдоподобным результатам. Если мы сейчас живем в трехмерной вселенной — это не более чем стечение обстоятельств, один из возможных способов нарушения симметрии. Можно задаваться вопросом, какие варианты этого нарушения не противоречат существованию человечества — но глупо спрашивать почему. Так оно *есть* — и надо принять это как состоявшуюся возможность.

Однако геометрическая тема практически неисчерпаема, и желающие блуждать в сомнениях всегда отыщут, к чему прицепиться. Скажем, можно нападать на аналитический метод как таковой, удивляясь обычной векторности пространства. В самом деле, почему везде считается, что расстояние следует представлять квадратичной формой? В математике куча разных метрик — и приверженность физиков лишь одной из них выглядит как-то странно. Для сравнения: в экономике мы просто суммируем стоимости совершенно разного происхождения, и никакое векторное сложение тут не требуется. Похоже, что традиционная физика справедлива только в малой окрестности некоторого равновесного состояния: если координаты точки задают лишь отклонение от равновесия, линейные члены естественно зануляются, и остается только квадратичный вклад.

Даже понятие пространственного положения — сплошь головная боль. В физике все осмысленные величины конечны: в физическом мире нет ни точек, ни бесконечностей. Это позволяет описывать в рамках единой теории явления самых разных масштабов. Например, то, что на одном уровне выглядит точкой, — на другом запросто может оказаться пространством. Что не мешает точкам этого «внутреннего» пространства, в свою очередь, оказаться свернутой формой пространства более высокого уровня. В качестве общеизвестного примера, вспомним о дуальности канонических переменных в классической и квантовой механике. В каждой точке многообразия задано касательное пространство; но каждая точка касательного пространства есть класс траекторий в базе. Собственно философия начинается там, где заходит разговор о возможной глубине подобных иерархий. Если существование составных систем, которые ведут себя как целое по отношению к каким-то типам взаимодействий, принять за основополагающую метафору, можно задуматься, не окажутся ли точки пространства как раз такими коллективными эффектами, а вовсе не элементарными понятиями теории. Разумеется, все то же самое можно сказать и о параметризации времени.

Впрочем, у времени хватает и собственной загадочности. Его одномерность, отношение к пространству и отсутствие изотропности (именуемое «стрелой времени») вечно притягивают любителей абстрактно полюбопытствовать. Твердолобо возражая против релятивистского объединения пространства и времени, философы на каждом шагу упираются в вопрос: за счет чего возможно такое единообразие? Предположительно, если мы это поймем, станут ясны границы применимости единой пространственно-временной картины — и обнаружатся практические ситуации, в которых качественное различие пространства и времени устранить никак нельзя. В каком-то смысле, термодинамика и нелинейная динамика уже приводят нас к идее необратимого и неоднородного времени — хотя до сих пор пытаются вывести глобальную необратимость из симметричных фундаментальных взаимодействий. А что если именно асимметрия лежит в основе всего?

В повседневной жизни время неизменно ассоциируется с некоторой повторяющейся деятельностью. Чем чаще повторения — тем быстрее идут соответствующие внутренние часы. В точном соответствии с релятивистскими воззрениями, всякая попытка ускорить дело связана с ощутимым усилием: время субъективно связано с энергией. Иерархия внутреннего времени в точности воспроизводит иерархию временных шкал в физике. Но тут является невежественный философ со своими идиотскими вопросами. Почему мы полагаем, что возможно представить время одним-единственным числом и снабдить все вообще физические явления числовыми ярлыками, положением на единственной временной оси? Почему не допустить, что время существенно относительно, и что разные временные шкалы вовсе не обязаны быть

сопоставимыми? Нечто подобное мы уже видели в модели ячеечной вселенной, порожденной сингулярностями преобразования Лоренца, — с соответствующими соображениями о взаимосвязях разделенного.

По любому, необходимость рассмотрения времени в связи с пространством для философа отнюдь не аксиома. Несмотря на всю похожесть, есть и серьезные различия: то ли мы интересуемся *состоянием* физической системы (ее конфигурацией) — то ли ее *движением* (смена одного состояния другим). Разумеется, возможно говорить и о *состоянии движения*; но это уже другой уровень иерархии, а его *проекция* в конфигурационное пространство более низкого уровня возможна лишь при определенных физических условиях. Но даже допуская такую возможность, мы не имеем права *напрямую* отображать время на пространство конфигураций; чтобы такое осуществить, надо связать время с каким-то особым типом движения и сравнивать фазы этого опорного процесса («часов») с сопутствующими изменениями состояний исходной системы.

Учитывая все это, мы могли бы предположить, что введению числовой меры времени следовало бы предпослать качественное описание межуровневых проекций. Возьмем, для определенности, два смежных уровня: пространственные положения и сопряженные им импульсы материальных точек. Традиционно, текущее состояние системы определяется набором положений и скоростей (которые, в конечном счете, позволяют догадаться о следующем наборе положений — но предсказание скоростей потребует уже знания об ускорениях, и т. д.). С точки зрения динамики, импульсы выглядят предпочтительнее скоростей — они полнее характеризуют состояние системы (что, кстати, наводит на мысль о первичности статических моментов масс по отношению к всего лишь пространственным положениям). Тогда различие соседних по времени состояний системы задано набором смещений в пространстве и приращений импульсов — то есть, смещением в фазовом пространстве системы. Время как таковое в этом никак не участвует, а лишь задает внешним образом общий *масштаб*, в котором мы рассматриваем движение системы, — уровень детализации. Когда мы встраиваем время в какие-либо инварианты (наподобие релятивистского интервала), мы жестко фиксируем временную шкалу, предполагая, что в процессе эволюции система не может переходить с одного уровня на другой, или вообще изменить порядок уровней. Но можно предложить более общий подход: давайте рассматривать траектории в фазовом пространстве и любые симметрии обнаруживать именно в нем. Тогда исследование динамически нарушаемых симметрий получит естественную понятийную опору. Собственно, так и поступают в моделях нелинейной динамики. Но тогда шкалы времени следует выводить из состояния движения, а не встраивать в теорию жестким, априорным образом. Например, в качестве кандидата на инвариантную меру движения можно было бы рассматривать какую-то комбинацию приращений координат и импульсов, нечто вроде этого:

$$ds^2 = \kappa^2 dp^2 - dx^2.$$

Пусть теперь dp и dx включают компоненты очень разного масштаба: гладкое (практически инерциальное) траектория высшего уровня — и очень быстрое круговое движение на низшем уровне, с радиусом много меньше характерных «макроскопических» смещений. В этом приближении можно записать интервал как

$$ds^2 = \kappa^2 m^2 a^2 dt^2 - dx^2,$$

что сразу же дает понятие «эталона скорости» $c^2 = \kappa^2 m^2 a^2$ — это характеристика некоторого скрытого периодического процесса, инвариантная на более высоком уровне. Очевидно, границы применимости такого «динамического релятивизма» зависят от устойчивости внутреннего движения. Точно так же, сосуществование нескольких качественно различных внутренних осцилляций естественно порождает иерархию временных шкал.

С тем же успехом (или с той же злонамеренностью) можно омрачать мелочными придирками и торжество общей теории относительности. Фундаментальный принцип эквивалентности гравитационной и инертной масс ведет к формальному отождествлению

гравитации с инерциальными силами — кажущимися воздействиями на материальное тело, движение которого мы описываем в неинерциальной системе отсчета. Идея в высшей степени привлекательная, поскольку абсолютно свободного движения в физике вообще не бывает — иначе мы просто не могли бы его наблюдать. Никакими физическими методами мы не можем отличить инерциальную систему отсчета от неинерциальной. В классической механике инерциальные силы считают фиктивными; напротив, в ОТО это совершенно физические силы, родственные гравитации (что, в частности, позволяет говорить об излучении гравитонов вращающимся телом; когда-нибудь мы научимся со всей достоверностью обнаруживать гравитационные волны — хотя бы потому, что нам очень этого хочется).

Тут входит какой-то занюханный философ и (с кривой ухмылкой) поздравляет нас с постижением сути диалектики на примере того факта, что движение под действием внешней силы есть совершенно свободное движение! Прямо-таки замечательный результат. Кое-кому очень понравится. Другая сторона этой победы всеобщего релятивизма — отсутствие каких-либо различий между экспериментальным результатом и артефактом: что ни наблюдай — все истина. В высшем диалектическом смысле это поистине выдающееся достижение: мы поняли, наконец, что всякое наблюдение есть акт взаимодействия наблюдаемого с наблюдателем, и важны вклады *с обеих сторон*. Другими словами, человеческие действия совершаются в реальном мире и неизбежно оставляют в нем следы, которые для нас вполне объективны и заслуживают иногда пристального внимания. Нечаянный ляп экспериментатора, перепутавшего, скажем, полярность батареи, — может привести к изумительнейшим открытиям. Математические ошибки при обсчете результатов измерений проливают свет на тонкую взаимосвязь физических явлений и человеческой психологии. Ошибки округления при вычислениях с ограниченной точностью могут накапливаться при численном моделировании — и указать на универсально значимые физические закономерности.

Потом тот же философ будет язвительно вопрошать, как допущение абсолютной физичности неинерциальных систем отсчета увязывается с логикой специальной теории относительности. Может показаться, например, что вращающийся наблюдатель должен допустить асимптотически бесконечные скорости — и бесконечно большие инерциальные силы для поддержания этого всемирного вращения. Тут даже не потребуются астрономических расстояний: для наблюдателя, сидящего на винчестере компьютера в Нью-Йорке, вся Европа оказывается уже в тахионной области. Когда я включаю свой компьютер где-то в Москве, все американцы должны почувствовать колоссальный гравитационный удар — и совершенно непостижимо, как они умудрились до сих пор уцелеть (не иначе, бог помог).

Конечно же, философа никак не устроит стандартный ответ, что всякая система отсчета определена лишь локально, и нельзя все огульно экстраполировать на бесконечность. Такое разъяснение не говорит ровным счетом ничего, поскольку критерии локальности остаются расплывчатыми, и всяк волен в них сомневаться. Более того, допущение о существовании некоего «радиуса обрезания» в пространстве — это дополнительное (и весьма сильное) физическое утверждение (по сути эквивалентное дискретности пространства-времени). Другое стандартное объяснение опирается на принципиальное (с точки зрения теории относительности) отсутствие абсолютно жестких тел, из-за чего отдаленные части Вселенной будут вращаться медленнее, чем приближенные к наблюдателю. И здесь философ дает волю справедливому негодованию: вращение наблюдателя — это его сугубо личное, интимное дело, и остальной Вселенной это нисколько не касается, — если только наблюдатель не оказывается достаточно массивным, чтобы повлиять своими телодвижениями на весь мир. Но когда мы просто переходим от плоской декартовой картины к вращающейся системе координат, мы делаем это мгновенно, вне времени (поскольку само сопоставление разных координатных систем предполагает их одновременное существование); поэтому ни о каких физических воздействиях на мир речь вообще не идет. Пока балерина на сцене крутит свои 32 фуэте, она непосредственно *видит*, как мир вращается вокруг нее, — хотя свет от Солнца до Земли идет дольше, чем длится этот эффектный номер. Как это *кажущееся* вращение соотносится с *реальными* физическими

силами — вопрос по-прежнему открытый. Все, на что согласен философ, — считать принцип эквивалентности гравитации и ускоренного движения всего лишь манерой выражения, остроумной фразой, игрой слов, — но никак не физическим законом. Да, силы в ускоренной системе отсчета могут складываться в нечто *подобное* гравитации. Но такое подобие вовсе *не означает* их одинаковости, общей природы. Все, что мы можем логически обосновать, — невозможность *непосредственного* измерения гравитационных сил в неинерциальной системе отсчета: для отделения собственно физики от экспериментальных артефактов здесь потребуются дополнительные формальные манипуляции, введение поправок на вращение наблюдателя. Однако положение дел в точности таково в любой экспериментальной науке; так астрономы испокон веков вычисляют фактические движения небесных тел на основании кажущегося движения по отношению к где-то географически расположенному прибору, при локальной калибровке хронометра. И точно так же, мы не можем использовать барометр для определения высоты, пока мы не знаем фактической величины атмосферного давления на некотором базовом уровне; но даже и в этом случае, чтобы очистить результат измерения от случайных помех, придется учесть распределение влажности воздуха по высоте, и направление ветра, и многое другое.

В популярной (в том числе популярно-философской) литературе с энтузиазмом говорят об эквивалентности массы и энергии, которую, якобы со всей определенностью установил великий Эйнштейн. На самом деле Эйнштейн никогда ничего такого не говорил: в его выкладках мы видим лишь указание на *кажущееся* возрастание массы движущегося тела с ростом скорости по отношению к неподвижному наблюдателю. Это наблюдаемое поведение ничего не говорит о природе массы тела как таковой (массы покоя). Опять же, единственно логичное следствие — невозможность *непосредственного* определения массы движущегося тела и необходимость дополнительной обработки результатов измерения для получения собственно физических величин. Но это относится к любым измерениям вообще, и не надо быть большим ученым, чтобы до этого додуматься. Например, в быту напольные электронные весы (по крайней мере, эконом-класса) покажут значительно больший вес, если встать на платформу быстро, с толчком; поэтому приходится нагружать прибор плавно, избегая резких переходных процессов. По логике «релятивизма», это следует интерпретировать как эквивалентность массы и импульса...

Продолжая рассуждать в том же духе, философ рискует вызвать гигантскую волну возмущения и презрения, допуская, что в специальной теории относительности преобразования Лоренца не предполагают действительной эквивалентности пространства и времени: они говорят лишь о том, что наблюдаемое пространство и время не соотносится напрямую с формально введенными для его описания в релятивистской механике координатами, которые поэтому недоступны (по крайней мере, непосредственному) измерению. Это утверждение вовсе не кажется очень уж сильным, если учесть, что в совершенно традиционной квантовой механике пространственные и временные координаты, как правило, вообще не наблюдаемы.

Глупые замечания можно плодить до бесконечности. В этом плане экспериментальные процедуры оказываются особенно уязвимыми, ибо всегда есть риск чего-то существенного не учесть. На этом основании некоторые теоретики заявляют, что физическая теория вообще не зависит от эксперимента, и никакими измерениями невозможно поколебать ее априорную истинность. Некоторые философы возражают: какой смысл в теории, если от нее нет никакой практической пользы? Но тем самым они невольно портят репутацию экспериментальной науки, ставя под вопрос ее объективность и достоверность. Так, обычные статистические методы вводят философа в полнейший ступор: на каком основании мы утверждаем, что усреднение результатов измерения повышает их точность и способствует объективному исследованию? Даже если это действительно так во многих практически важных ситуациях, у нас нет права придавать этому сколько-нибудь универсальное значение. Всякая статистика базируется на многочисленных допущениях — из которых предположение о случайном характере будет, пожалуй, одним из самых сильных. Даже если мы согласны на вероятностную картину, еще предстоит угадать характер статистики — а это может зависеть от предметной области. Общеизвестно, что

экспериментальные результаты не свободны от систематических погрешностей (с их собственной статистикой флуктуаций). Зачастую эти внешние влияния не удается исключить или уменьшить. Экспериментатор добросовестно старается обнаружить источники возможных ошибок и вычистить результат с использованием сложных математических технологий. Но именно это делает измерение существенно непрямым и снижает его ценность в деле проверки теорий. Всегда остается подозрение, что навороченные методы «нормализации» результатов измерения на деле сводятся к *навязыванию* некоторой теоретической модели; вместо *изучения* природы мы *подгоняем* ее под наши концептуальные предпочтения. В работе инженера это нормально — пока критические параметры под контролем. В науке — следует опасаться предвзятости и упорства в заблуждении.

При любом раскладе, есть много разных направлений исследования. Как правило мы интересуемся общими законами, которые выполняются как-то в среднем. Но допустимо поинтересоваться и особенностями действия общих законов в бесчисленных единичных ситуациях. Отклонение от регулярности столь же объективно, как и сама регулярность: если посмотреть пристальнее, можно уловить совершенно неожиданные аспекты в давно изученных прикладных областях. Например, общая теория литературы интересуется типовыми формами и общими направлениями; напротив, изучая творчество конкретного автора, мы придаем особое значение его индивидуальной манере, его собственной трактовке традиций и требований школы. Как обычно, здесь разворачивается иерархия наук, со своей спецификой на каждом уровне.

Посчастливило, ученые редко прислушиваются к философам — и это правильно. Как говаривал один из моих учителей физики, «почему?» — это вопрос демагогический. Если спросить ученого, почему он делает что-либо так, а не иначе, ответы будут самыми разными:

- Потому что все так делают.
- Потому что это круто, и мне нравится!
- Почему бы и нет? Просто поглядеть, что получится.
- Ну надо же мне что-то скормить рецензентам при публикации!
- Под это сейчас легче получить грант.

...

Правильный ответ: не важно. Не дело ученого размышлять по поводу истоков научного исследования. Пусть ученые спокойно и обстоятельно делают каждый свою науку — а философы займутся всем остальным.

Глобальный релятивизм и относительность локальности

В литературе часто отмечают, что релятивистский наблюдатель существенно локален. При этом локальность получается довольно странного образца. То есть, мы заявляем, что измерение расстояний требует знания пространственных положений в один и тот же момент времени, а временные промежутки имеют смысл только в отношении к некоторой фиксированной точке пространства. Если честно, это обыкновенный логический круг — протаскивание постулата об инвариантности интервала через задний проход.

Физически, чтобы видеть две точки пространства «одновременно», наблюдатель должен быть значительно больше расстояния между ними — так что это расстояние представляется практически инфинитезимальным. Точно так же, различие двух моментов времени, измеренных «в одной точке», должно быть пренебрежимо мало; иначе пришлось бы учитывать какие-то движения внутри инструмента, а значит, и пространственное перемещение. Чтобы все в итоге получилось как задумано, порядки величин (уровни «бесконечности») придется выбрать вполне определенным образом — и это еще один логический круг.

Учитывая все это, чисто аксиоматическое изложение теории относительности кажется более последовательным, при всей зыбкости собственно физических оснований. Релятивизм

тогда становится конструкцией *ad hoc* — но разве в других физических теориях дело обстоит иначе?

И все-таки, что не так с идеей локально (в одной точке) измеримого времени? Для локального наблюдателя, измерение расстояний тогда потребовало бы перемещения от одной точки к другой; разумеется, вовсе не обязательно лично в этом участвовать — достаточно посылать и принимать сигналы. Это, казалось бы, совершенно безобидное предположение внутренне противоречиво: подразумевается, что энергия зондирующих сигналов пренебрежимо мала — чтобы не влиять на движение физических тел и состояние наблюдателя; но такие слабые сигналы возможны лишь при очень больших длительностях (и в квантовой, и в классической механике) — а это связано с нарушением локальности при измерении времени.

Фокус в том, что система отчета лично перемещаемого наблюдателя всегда оказывается неинерциальной — ибо какие-то ускорения нужны для запуска измерения и возврата в исходную точку (ибо в итоге нам хочется иметь локально взятую длительность путешествия). Когда вместо этого используют луч света, он фактически становится одним из органов чувств наблюдателя, и требует таких же манипуляций для отправки к цели и возвращения назад. Например, фотон может просто отразиться от точки-мишени и попасть к покоящемуся наблюдателю; но тогда не избежать актов передачи импульса — и следовательно, физических сил. Конечно, можно попробовать как-то исхитриться и преодолеть трудности простой отражательной схемы. Вообразим себе некую активную среду, каждая точка которой способна испускать фотон, как только ее достигает зондирующая частица (фотон). Вроде бы, тогда энергия не теряется, и нет паразитных сил. Однако срабатывания механизма испускания детектируемых фотонов активной средой невозможно без взаимодействия среды и частицы-зонда, без детектирования и запуска реакции. Но это эквивалентно поглощению и переиспусканию исходного фотона, со всей встроенной неинерциальностью, — не говоря уже о неизбежных временных задержках. Добавьте сюда цену детектирования фотонов наблюдателем в исходной точке, когда приходится не только обнаруживать частицу, но и определять параметры ее движения, имеющие отношение к измеряемой величине.

Физика — искусство аппроксимации. В реальной жизни нам иногда удается поставить какие-то эксперименты, в которых измерение практически не влияет на измеряемое. Так, классическая механика занимается процессами такого энергетического масштаба, по сравнению с которым обмен энергией с пробными белами заведомо ничтожен. Но сегодня мы работаем и с такими вещами, для которых подобный подход совершенно не годится. Например, микроскопические (и сильно коррелированные макроскопические) системы ощущают любое измерение как деструктивное воздействие, меняющее их состояние (и состояние их движения). Можно сравнить это с перегретой жидкостью (или переохлажденным газом), когда малейшая флуктуация приводит к взрыву. Обычно мы обходим эту трудность, ограничивая себя асимптотическими областями, далекими от зоны физического взаимодействия: там мы можем делать что хотим с регистрируемыми частицами — и это никак не отразится на поведении исследуемой системы.

Есть веские основания предполагать, что область очень больших скоростей — столь же проблематичная зона для физической теории. В нынешней релятивистской картине любой обмен энергией (или эффективная масса носителя взаимодействия) возрастает с приближением к световому барьеру, так что никакое зондирование не может уже считаться невозмущающим. На языке общей теории относительности мы говорим о появлении большой массы, которая существенно изменяет геометрию пространства-времени и делает движение неинерциальным. То есть, в окрестности светового барьера ни одно измерение не обходится без модификации состояния движения — и тем самым нарушаются исходные допущения теории относительности. Применимость общей теории относительности вблизи светового барьера столь же сомнительна, как работоспособность специальной теории (поскольку пространство в ОТО считают локально плоским). Так ходовые физические теории подрывают собственные основания — и это большая удача, что во многих практических случаях они все же работают.

И все же вообразим себе идеальный случай, когда наблюдатель (физическая система) способен определять локальное время и работать с зондирующими сигналами без деликатных последствий. Как могли бы мы в такой системе отсчета определить расстояние? Пусть некий отрезок (абсолютно жесткий стержень) покоится. Сядем в его середину и пошлем пару фотонов в противоположащие конца отрезка. Засекая время получения отраженных фотонов (которое предположительно одинаково, и ни от чего лишнего не зависит), мы вычисляем пройденный ими путь. В этом (симметричном по построению) мысленном эксперименте мы как бы прикладываем линейку одновременно к двум концам отрезка.

Пусть теперь отрезок движется с постоянной скоростью вдоль оси, на которой он лежит. Тогда, при той же постановке измерения, мы испускаем пробные сигналы в момент $t = 0$, но регистрируем отраженные фотоны с некоторой разницей во времени Δt . Вроде бы, зная длину отрезка, мы можем (при некоторых «естественных» допущениях) вычислить его скорость на основании экспериментальных данных. И наоборот, зная скорость стержня, мы можем определить его длину (по отношению к покоящемуся наблюдателю). Но нет никакой возможности вытащить из наших измерений сразу и то, и другое. Знакомая ситуация, не правда ли? Опять квантовая неопределенность вылезает в совершенно классической физике.

Дела значительно усложняются, если у нас нет уверенности, что различия во времени прихода сигналов не связаны с нарушением симметрии (например, со смещением наблюдателя из центра отрезка). Сдвиг покоящегося стержня вдоль оси X может привести к тем же наблюдаемым расхождениям Δt , что и при измерении движущегося отрезка. Более того, даже если отраженные сигналы получены одновременно, это может оказаться лишь комбинацией эффектов пространственного движения и несимметричного расположения наблюдателя, так что противоположные вклады просто сокращаются. В нашем мысленном эксперименте нет никакой реальной возможности отличить пространственную асимметрию от ненулевой скорости — и это еще одно проявление внутреннего родства пространства и движения (вспомним ОТО!).

Таким образом, принцип локальности даже при идеальной постановке измерения будет нарушен, поскольку у нас нет уверенности, что сопоставляемые расстояния не взяты в разные моменты времени. Для осуществимости измерения неявно предполагается существование глобальной системы отсчета, в которую вложены все интересующие нас физические явления; только тогда последовательность таких событий возможно трактовать структурным образом, поскольку они взяты в один момент времени объемлющей системы. Обработка больших массивов данных — обычное дело в экспериментальной физике, от простого усреднения до хитроумных адаптивных методов. С формальной точки зрения следовало бы признать, что все эти приемы теоретически несостоятельны, — однако их широчайшая применимость на практике говорит в пользу идеи о принципиальной нелокальности природы (в той мере, в которой она представлена в физической науке).

В качестве примера, применим ту же «радарную» схему измерения для определения положения точки по временной задержке принятого (отраженного) сигнала относительно момента испускания исходно (пробного) сигнала. Конечно, само представление о том, что где-то там, вдали от наблюдателя, имеются еще какие-то тела, — это уже отступление от локальности, ибо предполагается, что конечное расстояние между нами и интересующим нас объектом всегда, как минимум, *есть* — безотносительно к количественным оценкам. Далее, мы принимаем за данность, что тело движется относительно наблюдателя, — и вот вам еще одна нелокальная идея, понятие траектории (пусть даже в каких-то случаях сжимающейся в точку), которую мы можем параметрически представить следующим образом:

$$x(t) = x(0) + vt .$$

Точно так же, траектория пробного сигнала есть нечто нелокальное, что мы описываем уравнением

$$x(t) = c(t - t_0) .$$

В некоторый момент времени t_x эти две траектории пересекаются (если это вообще возможно), и

отраженный сигнал путешествует к наблюдателю, в предположении постоянства скорости света, по траектории

$$x(t) = c(t_x - t_0) - c(t - t_x),$$

и прибывает в начало отсчета в момент

$$T_0 = 2t_x - t_0 = 2 \frac{x(0) + ct_0}{c - v} - t_0 = \frac{2x(0) + (c + v)t_0}{c - v}.$$

Поскольку тут два неизвестных параметра, $x(0)$ и v , от отдельно взятого измерения проку мало. Пусть мы решили послать еще один пробный сигнал в момент $t_1 = t_0 + \tau$; тогда для времени получения отраженного сигнала получим

$$T_1 = \frac{2x(0) + (c + v)t_0 + (c + v)\tau}{c - v},$$

и скорость движущейся частицы легко определить, сопоставляя разные наблюдения:

$$T = T_1 - T_0 = \frac{(c + v)}{c - v} \tau,$$

$$v = c \frac{T - \tau}{T + \tau}.$$

По самому построению схемы, измеряемая величина скорости будет меньше скорости света; иначе говорить о пересечении траекторий как-то проблематично.

Похожую технологию можно приспособить для детектирования света, излучаемого движущимся источником, без всяких пробных сигналов. На этом стоит вся астрономия, где почти все о движении объектов дальнего космоса выводится из доплеровских сдвигов. Конечно, мы не знаем заранее частоту (длину волны) испускаемых сигналов — и приходится привлекать дополнительные данные о физической природе изучаемых объектов и механизмах излучения. Так, надо убедиться, что частоты испускаемых фотонов не зависят от кинематических и динамических условий в момент излучения или от характеристик космической среды; надо ввести соответствующие поправки там, где такие эффекты принципиально неустранимы (как в случае пресловутого «поперечного» доплеровского эффекта из-за релятивистского замедления времени).

Так формальные манипуляции помогают нам «извлекать» физическую информацию из опытных данных. Иногда, впрочем, провести грань между «извлечением» и «привнесением» бывает довольно сложно. Тут никакая теория не советчик — и последнее слово за практическими следствиями применения косвенных методов измерения. Вообразите некий мир, где расстояния складываются каким-нибудь необычным образом, так что сумма двух длин x_1 и x_2 дается нетривиальной функцией

$$x_{12} = f(x_1, x_2).$$

Точно так же, определение скорости может быть нелинейным:

$$\mathbf{x}(t + \Delta t) = \mathbf{V}\mathbf{x}(t),$$

где \mathbf{V} — нелинейный (и, возможно, нелокальный) оператор, действующий на вектор пространственного положения (который, впрочем, при таком законе сложения расстояний может оказаться вовсе и не вектором).² Придется коренным образом пересмотреть логику измерения, и все количественные оценки поплывут. Да, мы свято чтим принцип соответствия — но ожидаемое асимптотическое поведение можно получить миллионом способов. Типичный источник проблем с чрезмерной экстраполяцией — фантазии о совершенной абстрактности математики, о ее

² Можно допустить, что в каких-то физических системах не определено само понятие перехода от одного момента времени к другому, и потому никакие представления о скорости просто неприменимы. Например, траектория может возникать как статистическое свойство (нечто вроде аттрактора), так что ее что соседние точки не связаны динамически.

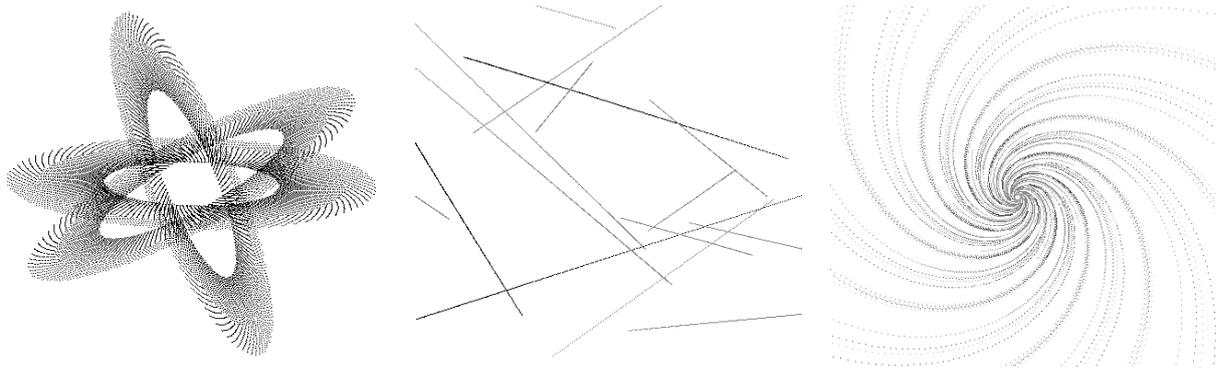
независимости от предметной области. На деле выбор той или иной математической модели — вопрос сугубо практический: надо понять, что существенно для теории, а что влияет лишь на способ ее применения. Когда мы складываем одну величину с другой, мы исходим из того, что в природе эти величины складываются именно так, и операции сложения отвечают вполне определенные практические действия. То есть, само появление науки тесно связано со способами деятельности; в частности, любой осмысленный теоретический результат должен (хотя бы в принципе) быть выразим в терминах предметной области. Например, когда мы формально решаем уравнения методом подстановки (заменяя искомые переменные их параметрическими представлениями), мы неявно используем знания о действительных симметриях конкретной системы, которые влияют на формальную структуру полученных для нее уравнений. Трактуя подстановку формально, мы лишь подчеркиваем тот факт, что на данном этапе эти свойства мы полагаем несущественными; однако в каком-то другом исследовании именно они могут привлечь первоочередное внимание.

Возвращаясь к разговору о (не)локальности, можно заключить, что в каждой процедуре измерения воплощена некоторая локальная модель нелокального мира, и мы используем эту модель для формального представления («обозначения») наблюдаемых событий. При этом предполагается, что полученная картина соответствует чему-то в реальном мире, судить о котором нам приходится по косвенным признакам. То есть, используя (предположительно верные) знания о динамике окружающего мира, мы способны теоретически построить его состояние в любой момент — пока причинность не сильно испорчена случайными влияниями. Построенное таким способом состояние абсолютно нелокально — однако оно измеримо, в смысле самой возможности его построения. Так внутренняя противоречивость получает свое логическое завершение: предположение о локальности ведет к нелокальной картине мира.

Упертый физикалист может сколько угодно изобретать всевозможные концептуальные приспособления, призванные вытравить нелокальную динамику из фундаментальной науки. Философия говорит, что все такие (изначально непоследовательные) попытки обречены в конце концов запутаться в противоречиях. Есть только один мир — и все происходит в той же самой Вселенной. Попытка мыслить нечто в отрыве от всего остального автоматически означает, что это остальное образует своего рода окружающую среду, тот контекст, в котором только и определимо это исходное нечто. Вещь представляет свою среду — и представлена ею. Одно без другого не существует. Степень «внутренней» или «внешней» определенности — другая сторона того же самого. То есть, у всякого локального свойства есть глобальный аналог, и никакое физическое описание невозможно без изрядной доли нелокальности. Ну а раз устранить ее принципиально нельзя — так лучше и не тратить на это силы, а заняться вопросами разумного контроля. Стоит осознать встроенную в модель нелокальность — и ее уровень станет прекрасным критерием применимости, укажет границы предметной области.

Общеизвестно, что нелинейное поведение в конечном счете связано с образованием составных систем, которые глобальным образом объединяют некоторое количество локальных компонент. Связь свойств коллективного поведения с параметрами движения низшего уровня носит *нелинейный* характер — и это делает соседние уровни иерархии *качественно* разными. Возьмем простейший случай чисто механического движения нескольких материальных точек с центральным взаимодействием (которое само по себе является источником нелокальности). Вращение двух тел вокруг общего центра масс — типичный пример составной системы; традиционно представляют результирующее движение линейной комбинацией векторов (положений и скоростей), относящихся к центру масс и к движениям тел вокруг него. Однако эта линейность нарушается, как только заходит речь о каких-то еще взаимодействиях. Составная система взаимодействует как целое только с достаточно удаленными телами, когда расстояние до центра масс много больше типичного диаметра системы (разброса положений компонент), причем речь идет о движениях с характерными временами много больше периода внутреннего вращения. Более того, если даже внешние воздействия удастся исключить, сам акт наблюдения помещает систему в определенные пространственно-временные рамки и тем самым привносит в

результаты наблюдения некоторую «искусственную» структуру. Так, для наблюдателя с полем наблюдения, малым по сравнению с масштабом внутренних движений и временами измерения много меньше периода вращения, движение будет выглядеть стохастическим; наоборот, бесконечно большой (адиабатический) наблюдатель увидит лишь точку, передвигающуюся в пустом пространстве. Разумеется, есть и полный комплект промежуточных вариантов. Численное моделирование для простейшего двумерного осциллятора хорошо иллюстрирует процесс образования «наложенных» структур из-за ограниченности поля зрения наблюдателя; несколько полученных вариантов показаны на рисунке:



В свете всего этого приходится допустить, что единство мира проявляется как всеобщая нелинейная взаимосвязь вещей и событий — и структуры физических теорий должны отражать действительную организацию нашей деятельности. Следовательно, иерархическое видение физического мира определяется иерархией освоенных нами деятельностей. Одним из частных выражений этого обстоятельства становится иерархичность систем отсчета.

Перейдем теперь к вопросу о сопоставлении различных систем отсчета. Формально, для этого требуется наличие системы отсчета более высокого уровня, в рамках которой исходные системы оказываются сопоставимыми. Объективно это означает, что у нескольких субъектов (представленных системами отсчета низкого уровня) есть общая совместная деятельность, продукт которой един для всех участников (которые, разумеется, вовсе не обязаны быть просто биологическими существами). Пусть речь идет о некотором классе физических экспериментов. Тогда единственный способ сопоставить данные разных наблюдателей — заставить их сообщить свое мнение о некотором физическом процессе, который наблюдаем сразу для всех. Задача не столь тривиальна, как может показаться. Предполагается, как минимум, наличие некоторой идеи «совместности». Разные наблюдатели должны договориться о том, что именно они наблюдают вместе. Когда один наблюдатель замечает то, чего другой не видел, — сравнивать просто нечего. С другой стороны, возможность сравнения означает, что совместно наблюдаемое еще и взято в одном и том же отношении, в том же аспекте. Если один наблюдатель интересуется положением тела в пространстве, а другой его температурой, — им нечего сообщить друг другу. Вспоминая об отмеченной выше взаимности длины и скорости, мы вообще начинаем сомневаться в возможности сопоставления качественно различных (дополнительных) аспектов того же самого. Так, движущийся наблюдатель может определить длину отрезка прямой (стержня) в своей собственной системе отсчета, где этот стержень покоится, — и сообщить этот факт кому угодно. Покоящийся наблюдатель мог бы принять этот результат за истинную длину стержня — и тогда он может однозначно определить его скорость. Двух взаимно дополнительных экспериментов достаточно в этом случае, чтобы полностью определить состояние физической системы. Как говорит нам теория относительности, это не так. Таким образом, агрегирование данных из разных источников — операция довольно рискованная, и результаты такого измерения могут ничему в действительности не соответствовать.

Эта проблема испокон веков известна в астрономической науке, где иногда приходится иметь дело с очень медленными изменениями, происходящими на протяжении десятилетий, и

даже веков. Понятно, что результаты астрономических наблюдений зависят от многих факторов, и потому исключительно важно выработать надежные процедуры представления и обработки сырых данных. В астрономии существуют детально расписанные протоколы отчетов, так чтобы можно было введением соответствующих поправок привести весь огромный массив уже имеющихся измерений к уточненному значению какого-нибудь опорного параметра, без пересмотра картины в целом. Конечно, есть и такие влияния, которые в принципе невозможно компенсировать. Тем не менее, совокупность наблюдаемых относительных движений небесных тел можно считать достаточно убедительными данными опыта. Однако для внеземного наблюдателя вся эта громоздкая схема оказывается совершенно бесполезной, если нет никакой объективной процедура перевода структуры его наблюдений в земные понятия.

Мы никогда не можем достоверно знать, как мир видится другим. Мы можем доверять их данным — но эти картины мира нарисованы с совершенно неведомых ракурсов. Всякое сравнение требует множества сильных допущений относительно того, как мы воздействуем на мир — и как другие на это реагируют. Здесь всякая наука заканчивается. В каждое мгновение мы воспринимаем мир — но не наше восприятие. Наблюдение способа наблюдения — это *совсем другой* тип наблюдения. Пытаясь прикрутить к физике рефлексию, мы приходим запутанному индетерминизму (если не мистике). Тем не менее всякий знает, что на самом деле наука не только *возможна* — она еще и может быть весьма полезна! Почему?

И снова: решение в практике. Всякая наука изучает свою предметную область лишь в той мере, в которой ее содержание уже стало объектом некоторой совместной деятельности. Тот пласт исторического опыта, из которого выросла это общность, — вне науки. Любые попытки «научно» экстраполировать прошлый опыт в будущее — тоже вне науки, как ни подкрепляй их высшими методологическими соображениями. Глупо требовать от физика, чтобы он объяснил физику. Физики просто *делают* науку — и если им вдруг потребуются какие-либо разъяснения, они будут вынуждены обратиться (и на практике обращаются) к кому-то другому. Для сопоставления систем отсчета физики используют общность физических событий, которая имеется *в практике*. Другими словами, они ничего *не предполагают* — они действуют в рамках уже сделанных допущений. Эта первичная нелокальность изначально встроена в каждую физическую теорию.

Когда заходит речь об основаниях науки, мы вольны выбрать уровень рассмотрения в соответствии с нашими практическими потребностями. То есть, из бесконечности вариантов каждый выбирает те предположения, которые наиболее подвержены изменениям, так что всякая систематизация — лишь подготовка к пересмотру основ. В науке фундаментальные принципы всегда формулируют в (предварительных) терминах будущей, пересмотренной теории.

Как в каждой иерархии, структура науки подвижна: возможны любые обращения иерархии.³ Даже в рамках очень узкой задачи (обоснование принципа относительности) можно идти разными путями, и нет единственно приемлемого выбора. Когда то предпочитали работать в инерциальных системах отсчета, поскольку тем самым устранялись «нефизические» силы и выпукло выступали собственно «динамические» принципы. Ускоренные системы отсчета были полезны как вспомогательное построение, технический прием. Однако, поскольку в реальном мире не бывает совершенно свободных от всяческих взаимодействий систем, понятие инерциальной системы отсчета понемногу эволюционировало в абстрактную идею, а все практические схемы измерения так или иначе должны учитывать «фиктивные» силы из-за сложного движения одного наблюдателя относительно других. И пока мы ограничиваемся локальным описанием, «паразитные» эффекты совершенно невозможно отличить от «физических» сил. Ни одна система отсчета не предпочтительнее другой — и можно говорить лишь о классах систем отсчета инвариантных по отношению к некоторым «инерциальным» преобразованиям общего вида, не обязательно сводящимся к относительному движению с постоянной скоростью. Каждый класс «инерциальных» преобразований характеризуется своим

³ P. Ivanov, *Philosophy of Consciousness*. — Trafford, 2009.

набором базовых инвариантов. Например, законы классической механики выглядят одинаково во всех системах, движущихся равномерно и прямолинейно относительно друг друга; это самый известный тип инерциальности. Но мы могли бы точно так же взять за основу полную энергию (или ее температурный эквивалент); требование «эквивалентности» порождает класс систем, непохожий на традиционно инерциальные, в которых кинетическая энергия движения системы как целого заведомо не сохраняется при переходе от одной системы к другой.

Заранее не очевидно, могут ли критерии инерциальности исходить из разного рода статистических характеристик. Такие параметры как правило динамически асимметричны, так что переход от одной системы отчета к другой оказывается, вообще говоря, необратимым.⁴ Но мы давно уже привыкли к некоммутативности операторов квантовой теории поля, а конструкты вроде поля температур или давлений мало отличаются в этом плане от распределения масс или электрического потенциала. По большому счету, любая физическая величина может считаться статистической, поскольку все физические понятия (как и всякое понятие вообще) говорят о классах возможных «микроскопических» реализаций, а не об одной из них («чистое» состояние). В связи с этим смысл относительности требует более внимательного обсуждения. Может ли быть признано физически приемлемым, если температура тела в одной системе отчета растет, а в другой падает? А как насчет энтропии? Каин убил Авеля — или наоборот?

По всей видимости, призрак всеобщей изменчивости будет преследовать любую науку во все времена — каким бы неудобным это нам ни казалось. Этой ценой мы покупаем желанную локальность. Мы можем сколько угодно подводить наши впечатления под фундаментальные критерии самого высокого уровня — окончательно изгнать дьявола не получится все равно, ибо само различие «верха» и «низа» в иерархии относительно, оно определено лишь в одной из возможных иерархических структур, при определенном способе развертывания. Свойства кристалла зависят от физики составляющих его атомов и молекул; но атомы и молекулы в кристалле ведут себя иначе, нежели сами по себе — или в жидкости, — или в плазменном пучке. Мозг животного функционально отличен от мозга социального существа — при тождестве физиологии. Точно так же локальное движение материальной точки в заданной системе отчета можно с тем же успехом считать способом определения (конструирования) системы отчета.

Ну и ладно. Примем все как есть и не будем искать исчерпывающих объяснений. Не надо принимать предсказания науки очень уж всерьез и бояться собственных фантазий. Наука хороша, когда речь идет правдоподобности представлений о том, что бы можно было сделать. Однако эти представления все равно останутся голой абстракцией, пока кто-нибудь не возьмет да не сделает это на самом деле (часто вовсе не так, как предполагалось по науке). И конечно же, никакая наука не помешает нам творить «чудеса» — какими бы неправдоподобными ни казались они в свете науки. Будет другая наука, и старые ограничения придется потеснить. Мы не знаем, какие именно из нынешних невозможностей станут возможны в ближайшем будущем, — но мы можем с уверенностью утверждать, что это непременно случится, — а потом еще что-нибудь, и так без конца.

Да, жить одними лишь чудесами в обыденности не получится. Иначе они не были бы чудесами. Все та же древняя история о глобальной курице, несущей локальные яйца. Когда найдено рабочее решение для класса практических задач, мы прикладываем все усилия, чтобы построить об этом науку в уже имеющихся концептуальных рамках (и это тоже система отчета). По сути, это единственный способ добраться до границ применимости науки — чтобы опять задействовать наши магические способности. По пути можно забавляться философией — или утешаться, если проблема попалась уж очень заковыристая. Вот и давайте еще раз поглядим, что можно сказать о постояльцах нашего механического мира с их часами и зондирующими фотонами.

Модельное представление о системе отчета подразумевает, что различные наблюдатели «вложены» некоторое образование более высокого уровня, в рамках которого они различаются

⁴ Это не мешает существованию своего рода «инерциальных петель», наподобие цикла Карно.

набором *глобальных* параметров (например, относительными скоростями). Можно, вроде бы, возразить, что параметры эти не совсем глобальны, ибо измерены они каким-то из наблюдателей в его локальной системе отсчета. Однако у нас есть принцип относительности, который гласит, что наблюдатель «1» движущийся в некоторой системе отсчета «0», увидит ту же картину, что и «0», движущийся относительно «1» с такой же скоростью в противоположном направлении. Эта симметрия считается важным физическим свойством — но ни из каких локальных соображений она не вытекает.

Далее, предполагается, что каждый наблюдатель располагает полной информацией относительно всего, что происходит в его собственной системе отсчета в каждое мгновение в каждой точке. То есть, этот («локальный») наблюдатель абсолютно глобален в системе покоя. Предположение очень сильное — но всегда неявно принимается. В двух словах, это означает, что система отсчета уже построена: нечто вполне определенное, готовая структура, взятая как целое в один момент. Это снова выводит нас за рамки локальности, представляя систему отсчета точкой в некотором глобальном смысле.

Поскольку сравнение систем отсчета изначально является операцией более высокого уровня, соответствующие наблюдатели вовсе не обязаны догадываться о существовании друг друга и об относительном движении. Взаимосвязь между различными системами отсчета оказывается поэтому *объективной*. Тем не менее, ничто не мешает локальному наблюдателю считать какой-либо движущийся относительно него объект еще одним наблюдателем и нарисовать картину мира с точки зрения этого гипотетического наблюдателя. Полученная *субъективная* взаимосвязь может не совпадать с объективным законом, поскольку локальные структуры не напрямую зависят от особенностей высшего уровня. При этом локальное сравнение фактически есть трехступенчатая процедура: сначала мы угадываем, как две системы отсчета представлены на верхнем уровне, потом переводим одну в другую объективным образом, и затем проецируем результат внутрь локальной системы. В физике часто упускают из виду первый и последний этапы, трактуют локальные теории как объективный закон, «подсказанный» эмпирическими данными (или «подтвержденный» ими). Еще раз заметим, что реконструкция картины мира стороннего наблюдателя отлична от локального описания этого мира: это совершенно разные деятельности, и возможные взаимосвязи между ними невозможно объяснить в рамках одного уровня иерархии.

В этом контексте одинаковость строения всех систем отсчета выглядит вполне естественно. Поскольку один наблюдатель не может непосредственно видеть мир глазами другого, он вынужден выражать предполагаемые восприятия другого на своем языке, приписывая тому те же общие идеи. Другими словами, все наблюдатели становятся клонами друг друга, действуют одинаково и представляют результаты в той же абстрактной форме. Но такая универсальность сама по себе есть глобальная структура; в общем случае, на верхнем уровне соотношение может оказаться не столь жестким. С другой стороны, наблюдаемые расхождения в измерениях наблюдателей низшего уровня могут оказаться лишь кажущимися, возникая из-за необходимости преобразования от локального описания к глобальному и обратно, тогда как на верхнем уровне все гораздо проще. Например, на верхнем уровне уравнения движения могут быть одинаковы во всех системах отсчета — а на нижнем уровне они становятся более запутанными, включая комбинации «инерциальных» сил. Если же оказывается, что на локальном уровне структуры систем отсчета одинаковы у разных наблюдателей, это может указывать на однородность соответствующих связей с высшим уровнем. Сюда добавляется еще и относительность «горизонталей» и «вертикалей» в процессе обращения иерархии, так что процедуры свертывания и развертывания могут различаться. Единообразие систем отсчета предполагает, следовательно, иерархию взаимно согласованных иерархических структур.

Трудно сказать, возможна ли глобальная трактовка пространства и времени на каком-то уровне — при сохранении локального релятивистского запутывания. Принцип соответствия и традиционное несоответствие размерности пространства и времени говорят в пользу такого предположения. Еще одним указанием можно было бы считать случаи «скрытого» релятивизма

(или квантования), когда какие-то свойства классической (макроскопической) системы объяснимы лишь с позиций внутреннего релятивистского (квантового) движения. То есть, чтобы получить наблюдаемую картину в локальной системе отсчета, потребуется преобразовать пространство и время верхнего уровня (глобальные) в соответствии с некоторыми правилами; набор этих правил мы называем физической симметрией — но она вовсе не обязательно связана с относительным движением наблюдателей. Поскольку же каждый наблюдатель может независимо выбирать параметры локальных симметрий, картины движения в разных системах отсчета могут оказаться несопоставимыми. Формулы специальной теории относительности определены по отношению к особому классу «клонированных» систем отсчета, связанных посредством глобального параметра. Это аналог «квантового запутывания» в совершенно классической динамике. Или наоборот: можно искать причины квантовых корреляций в иерархической природе всякого движения.

Под занавес, укажем еще несколько возможных источников проблем при сопоставлении систем отсчета. Например, обычная в популярной литературе иллюстрация специальной теории относительности: два наблюдателя, движущихся относительно друг друга, изучают движение жесткого стержня (отрезка прямой в пространстве). Допустим, стержень покоится относительно одного из наблюдателей. Тогда мы лихо предполагаем, что другой наблюдатель увидит стержень, перемещающийся с некоторой (предположительно) постоянной скоростью.

В такой постановке, сама идея протяженного тела — это уже выход за пределы строгой локальности. Чтобы воспринимать стержень как целое, оба наблюдателя должны откуда-то узнать о существовании некоего объекта, потом обнаружить, что концы отрезка с ним неразрывно связаны, а потом еще и осознать, что оба наблюдают один и тот же объект... Грандиозная эпопея для локального наблюдателя, который (в идеале) не видит дальше своего носа и способен измерять только временные промежутки! Но наши ученые необыкновенно изобретательны в таких вопросах. Иначе мы бы вообще ничего не знали о дальних уголках Вселенной, до которых земные звездолеты пока не добрались. А заодно и о микроскопическом мире, куда мы уж точно никогда не прибудем. На практике трюк в том, чтобы провести серию независимых измерений и потом свести воедино результаты, опираясь на общую теоретическую картину. Допустим, что в нашем мысленном эксперименте вся эта предварительная работа уже проделана и целостный физический объект там присутствует «по построению».

Но вопроса о возможности совместного наблюдения одних тех же событий это не снимает. Так, допуская, что оба наблюдателя используют одинаковые пробные сигналы для зондирования (и построения) своей системы отсчета, мы не можем быть уверены, что делают они это тем же способом — если не допустить, что один наблюдатель способен непосредственно наблюдать процесс измерения другого наблюдателя.⁵ То есть, приходится сравнивать еще и сами акты наблюдения, а не только наблюдаемые картины движения, — и это опять возвращает нас к иерархическому пониманию системы отсчета. Но в реальности мы редко можем проследить за процессом распространения света (хотя сделать его наблюдаемым в некоторой активной среде принципиально возможно). Конечно, речь не идет о всевозможных фазовых эффектах, вроде видимого движения тени или перемещение границы ночи и дня по глобусу. В норме мы регистрируем лишь акты поглощения или испускания света; это первые кандидатуры в список наблюдаемых физических событий. При этом использование, скажем, сильно коллимированных световых сигналов (узких пучков) может привести к тому, что наблюдатель потеряет сигнал, посланный другим наблюдателем в противоположном направлении, что подрывало бы идею общности зондирующих сигналов. Чтобы избавиться от подобных осложнений, придется допустить, что пробные сигналы представляют собой сферические волны, и они могут быть обнаружены под любым углом. В мысленном эксперименте можно не заботиться о физической

⁵ Аналогично, один наблюдатель мог бы построить модель системы отсчета другого, напрямую сопоставляя движения физических тел с наблюдаемым движением другого наблюдателя. То же самое можно было бы осуществить косвенным образом, используя отчеты стороннего наблюдателя в качестве источника информации — точно так же, как мы на основании испускания и поглощения света заключаем о его распространении.

реализуемости; в жизни осуществимость такого подхода может быть поставлена под вопрос для очень мощных или очень слабых сигналов. Разумеется, всякая волна (в частности, сферическая) есть существенно нелокальная сущность, и тут опять попахивает смешением классического и квантового описания. С точки зрения логики, мы неявно вводим очень сильное допущение, что каждая система отсчета занимает то же самое физическое пространство — оставаясь при этом внутренним пространством наблюдателя. Такой глобальный релятивизм разрешает нам принимать сигналы независимо от направления испускания; потом полученная информация как-то привязывается к одной точке пространства-времени (положению наблюдателя), что делает результат наблюдения локальным (и, следовательно, относительным). Но та же логическая конструкция позволяет включить возможные сверхсветовые движения в круг совместно наблюдаемых явлений.

Другая сторона этой логики обнаруживается при анализе понятия «пространственное направление». Как возможно определить направление локально, в одной точке? Даже с бесконечно малыми смещениями, придется-таки покинуть исходную точку и вернуться обратно. Тогда вектор оказывается абстракцией замкнутой траектории, еще одним, очень специфическим примером нелокальности. Учтем также, что измерение времени целиком зиждется на сравнении циклических процессов: типичные часы — это существенно нелокальная пространственная конструкция, и момент времени в нашем восприятии всегда представлен пространственным распределением. Чтобы изолировать эту нелокальность от остальных частей системы (которая тогда предположительно станет локальной), можно было бы использовать пространственное разделение — и тем самым присущую пространственным направлениям нелокальность. Некоторым образом, релятивистское перепутывание пространства и времени связано относительностью пространственной ортогональности.

При рассмотрении излучения и поглощения света (отправка и прием сигналов) приходится иметь дело с еще одной концептуальной проблемой: откуда мы знаем, что фотон, принятый нами здесь и сейчас, был испущен каким-то удаленным телом давным-давно? Это существенно глобальная идея, которая не выводится ни из каких локальных измерений. Поскольку все фотоны совершенно одинаковы, всегда есть риск перепутать один с другим и получить искаженную картину реальности. На практике эту трудность преодолевают путем многократных и длительных наблюдений: если они воспроизводят примерно то же самое от одного раза к другому, разумно допустить, что это связано с наличием чего-то вне нашего ближайшего окружения. Ни одно научное понятие (да и никакое понятие вообще) не относится к единичному измерению (восприятию). Прежде всего надо иметь общую картину — а потом уже вытаскивать детали как свойства целого. Разумеется такая усредненная картина может маскировать какие-то важные физические эффекты и обнаруживать кажущиеся закономерности. Правильность наших представлений мы проверяем сопоставлением данных из разных источников, с использованием различных физических явлений. В силу этого простая схема с клонированными наблюдателями, использующими одинаковые методы измерения для построения глобальных структур (систем отсчета) физически бессмысленна — или, по крайней мере, весьма ограничена. То же самое в другой формулировке: система отсчета есть своего рода коллективный эффект, когда много нелинейных (глобальных) взаимодействий порождают относительно устойчивые структуры на более высоком уровне иерархии.

Энергия и информация

С самого начала наука физика имела дело с вещами, которые умеют двигаться сами по себе, не предполагая никакого сознательного вмешательства. Хотя мы часто устраиваем физические события ради практического интереса, собственно физическая часть никоим образом не зависит от наших намерений — и надо приспособлять наши ожидания к объективным законам, а не насиловать природу, требуя от нее удовлетворения любых наших прихотей.

Напротив, обмен информацией изначально призван обслуживать человеческое общение. Может показаться, что в каких-то электронных устройствах и компьютерных сетях информация гуляет сама по себе и может вполне обходиться без людей, задача и первоисточник всякого обмена данными — человеческая потребность, даже если эту связь непрямую не проследить. Без этого культурного контекста — останутся лишь случайные физические процессы в электронных цепях, без какого-либо потока информации, — если, конечно, на базе этого железа не разовьется разум особого типа, культура сообщества роботов. Как говорил один мой коллега: «Не врубаюсь. Почему мы рассчитываем нагрев серверной по сумме мощностей блоков питания? Тонны информации обрабатываются каждое мгновение и сохраняются на дисках... Должна же хоть часть энергии переходить в результаты вычислений!» И все же, с физической точки зрения, любые вычисления — лишь извращенный способ генерации тепла. Запись 0 или 1 в модуле памяти требует вполне определенных энергозатрат, а любая осмысленная интерпретация полученных таким образом физических структур — вне компьютера. Точно так же, как механическим весам абсолютно без разницы, что мы собираемся взвешивать: слиток золота или кусок пирога.

Информация — это преднамеренное упорядочение вещей а не вещи как таковые. Одно и то же физическое состояние может нести ценную информацию — и стать бессмысленным, с исчезновением последнего возможного интерпретатора. Например, буквы в этом тексте могут сообщить мои соображения кому-то достаточно разумному, кто мог бы со мной согласиться или поспорить, — но если никто не откроет эту страницу, они останутся чистым совпадением обстоятельств, случайной последовательностью.

Тем не менее, если не вдаваться в мистические спекуляции, мы обязаны учитывать, что организовать вещи так, чтобы они были стали носителями информации, нельзя без некоторых физических усилий — и при этом неизбежна диссипация энергии. В консервативной системе, где нет выделения теплоты, не может быть информационного обмена. Другими словами, наводя порядок в одном месте, мы неизбежно создаем беспорядок в другом. В термодинамике эта идея представлена понятием энтропии, и физики дружно согласны, что в изолированной физической системе энтропия уменьшаться не может. На этом основании можно было бы поддаться искушению трактовать всякое изменение энтропии как акт коммуникации, и рассматривать информацию как физическую величину. Но здесь элементарная логическая ошибка: если передача информации требует потоков энтропии, это вовсе не означает, что и обратное верно, что энтропийные процессы всегда связаны с обменом сообщениями. По той же логике, можно было бы, например, напрямую связать мускульную силу с количеством еды.

При определенных условиях, энтропия вполне может служить мерой информации; в других ситуациях — больше подходят иные меры (например, деньги). Восстанавливая логику, можно было бы, наоборот, определить нечто вроде энтропии для каждого способа измерения информации — так что окажется возможным говорить о термодинамике коммуникации и обработки информации. Но тут есть свои принципиальные моменты. Так, печально известная сказка Пенроуза о квантовом сознании пыталась свести психику к физике. Более трезвый подход может принять подобные построения только в качестве яркой метафоры — иногда полезной, иногда нет. В физике мы встречаемся с многочисленными метафорами такого рода, вроде отрицательных температур или обратного движения во времени; все знают, что эти образные выражения ссылаются на обычные физические явления, которые можно описывать (хотя, может быть, чуть сложнее) более сдержанным языком — и температуры останутся положительными, и время сохранить свою интуитивную направленность.

Важно помнить, что количественные оценки информации — далеко не всегда именно то, что нам нужно. Бывают ситуации, когда качественное описание намного точнее. Так, мы вправе обсуждать моральные аспекты коммуникации, характеризуя некоторое сообщение как дезинформацию или гнусную ложь. Можно обратить внимание на своевременность, уместность или полноту информации, говорить о ее целостности или приемлемости. Нет никакой нужды в том, чтобы на все навешивать числа, — количественные оценки полезны только в условиях

существования социально выработанной шкалы, допускающей достаточно тонкие градации. Во многих практически важных случаях численные значения остаются всего лишь абстрактными метками, которые вполне можно было бы заменить обычными словами или пиктограммами, выражая то же самое более очевидным и легко воспринимаемым способом. В научном эксперименте есть железное правило: чтобы избежать мнимых регулярностей, точность расчета не должна превышать точности исходных данных; тот же принцип следовало бы принять на вооружение и теоретикам — и в частности, избегать численных ответов на качественные вопросы, где вся количественная машинерия оказывается совершенно излишней, создавая иллюзию более глубокого знания, чем есть на самом деле.

Возвращаясь к вопросу о необходимости физического движения для человеческого общения, можно задаться вопросом: а нет ли тут какого-то встроенного ограничения, так что нельзя передавать информацию с энергозатратами ниже некоторой величины? Существование такого порога кажется вполне естественным — особенно при взгляде на квантовую картину мира, с ее дискретностями и резонансными явлениями. Но вспомним, что в квантовой механике любая дискретность вложена в какой-то континуум: ни в одной сложной системе не бывает абсолютно стабильных состояний, и максимум возможного — очень большие времена жизни, сравнимые с возрастом Вселенной. Приходится принять, что энергетический порог для обмена информацией определяется не содержанием сообщения, а чисто физическими ограничениями на канал связи.

Например, в теории квантовых вычислений есть чуть ли не классический принцип Ландауэра: обработка 1 бита информации рассеивает энергию не меньше $kT \log 2$, где k — постоянная Больцмана, а T — абсолютная температура. Тогда, в условиях стремительного роста потоков обрабатываемой информации в современных компьютерах, эта пороговая величина, при всей своей малости, может быть вполне измеримой. Вероятно, мы уже приближаемся к такому уровню эффективности, при котором вступают в игру подобные «физические» ограничения.

Но с логической точки зрения тут сплошные дыры. Если трактовать компьютер как физическую систему — мы имеем право изучать лишь тепловые процессы, и ни о каком обмене информацией речи нет. Формула Ландауэра выведена для элементарного квантового перехода, вроде изменения проекции спина электрона. Такую систему вполне можно считать двоичным переключателем и детально обсуждать ее термодинамические свойства. Но даже в этой физической картине существование нижнего порога полностью обусловлено статистической природой процесса, в предположении, что есть обширный ансамбль «свободных» двоичных переключателей, которые не взаимодействуют ни друг с другом, ни со своей физической средой. В сильно коррелированной системе энергетическая стоимость единичного переключения может быть понижена (это традиционно связывают с терминами «когерентность» или «запутывание»). Появление постоянной Больцмана в формуле Ландауэра отнюдь не случайно: это артефакт выбора одной из возможных моделей, с наложением соответствующих физических связей.

С другой стороны, функционирование компьютера вообще не обязано как-то относиться к человеческому общению и обмену информацией. В своей основе, это типично физический процесс синхронизации состояния многих двоичных переключателей (хотя и не всегда столь элементарных, как у Ландауэра). Разумеется, на физическом уровне совершенно безразлично, чем компьютер занимается: тот же профиль порождения тепла (или энтропии) возникает при самых разных обстоятельствах. Чтобы рассматривать собственно вычисления, придется оставить физику на заднем плане и перейти к логике работы той же системы — а это уже совсем другая наука. Физическая система не интересуется, будет то или иное физическое состояние двоичного переключателя обозначать 0 или 1; идеи вроде бита, байта, машинного слова и т. п. совершенно чужды физике. То есть, когда Ландауэр заявляет, что стирание одного бита информации требует определенной энергии, он эклектически смешивает два разных положения: первое относится к состояниям физической системы (двоичного переключателя) — второе допускает, что такие состояния можно *интерпретировать* в терминах компьютерных операций. Но интерпретация есть особая деятельность, предполагающая совсем другую физику, на другом уровне, *в другом*

масштабе энергий. Грубо говоря, кто-то должен *считать* текущее состояние переключателя и запустить ряд дочерних процессов, в зависимости от результата. Для классического компьютера, передача энергии в процессах интерпретации и коммуникации пренебрежимо мала по сравнению с тем, что требуется для поддержания переключателя в рабочем состоянии. Квантовые вычисления могут существенно интерферировать с процессами переключения, что означает переход к *квантовой логике*, а не только к квантовой физике.

Понятно, что человеческое участие в интерпретации не догма. При каждой конкретной организации дела, возникает развернутая иерархия абстрактных активных сред — вроде известной модели OSI. Физическая реализация этих агентов может быть какой угодно — и в этом смысле можно метафорически трактовать кристалл, органическую молекулу или живую клетку как своего рода компьютер. На этом уровне работает традиционная теория коммуникации, со всеми ее количественными мерами. Но если честно, здесь нет собственно информации — и никто никого в этом компьютерном мире ни о чем не извещает. Компьютеры не занимаются обработкой *информации* — они обрабатывают *данные, типовые наборы* физических состояний. Переход от физического к логическому уровню в этом плане вполне подобен тому, как переход от динамического к статистическому описанию в физике значительно сокращает количество учитываемых степеней свободы; возможно, с этим частично связана концептуальная путаница, отождествление количества информации с неэнтропией, хотя речь идет о двух разных типах статистики, несводимых друг к другу.

Обратимся теперь к информации в собственном смысле слова — к осмысленным сообщениям, которыми обмениваются разумные существа. Простой передачи данных для этого недостаточно: как сами данные, так и технология их передачи должны быть *мотивированы* некоторой совместной деятельностью, которая устанавливает контекст коммуникации. Один и тот же физический процесс, даже при одинаковой интерпретации в терминах обработки данных, может быть либо информативным, либо нет, — в зависимости от культурных условий. Можно тут усмотреть какой-либо порог минимальных энергозатрат? И да, и нет. Да — поскольку материальная основа всякой конкретной культуры ограничена исторически сложившимся способом производства, что предполагает освоение физической реальности на соответствующем уровне. В рамках своей культуры мы просто не умеем обнаруживать достаточно тонкие изменения состояний мира — отсюда существование физических порогов в человеческом общении. Однако по мере технологического развития круг наблюдаемых физических явлений неизбежно будет расширяться, так что экономическая роль грубой силы стремится к нулю (хотя и только в пределе, не обращаясь в ноль на практике). Энергетические уровни в сложной коррелированной системе расположены гораздо теснее, чем в любой из ее компонент, взятой сама по себе. Соответственно, для успешной коммуникации требуется меньшая диссипация энергии. Поскольку верхним пределом сложности систем служит только мир целиком, не может быть какого-то абсолютно установленного порога энергетических затрат в общении: всякие культурные ограничения устранимы в будущем, когда общество для этого дорастет. Используя формулу Ландауэра метафорически, можно заметить, что высокие технологии допускают информационный обмен при более низких температурах — вплоть до абсолютного нуля. Нетрудно усмотреть физический смысл этой метафоры: в достаточно окультуренной природе стохастическое поведение уступает дорогу планированию и контролю. Действительно, динамика системы, подчиняющейся детерминистическим уравнениям движения с определенными граничными условиями происходит как бы при нулевой температуре. С этой точки зрения, намеренность в человеческой деятельности призвана привнести в хаос какой-то порядок — для чего мы и общаемся друг с другом.

В реальной жизни все несколько сложнее. Всякая иерархия может порождать различные иерархические структуры (обращения иерархии), и потому различие между соседними уровнями не является безусловным. То есть, ряд процессов логического уровня может стать цепью физических событий, а некоторые функции разума в конце концов делегируются разного рода «компьютерам». Обратно, физические системы способны развить «логический» функционал, а

компьютеры в конечном итоге могут объединиться в нечто общественное и породить собственную культуру, в дополнение к человеческой. Тем не менее, на каждом конкретном повороте картина в целом останется той же, и сохранится принципиальное отличие физического движения от логики вычислений — а оба эти уровня не следует смешивать с процессами информационного обмена.

Феноменология пространства и времени

В наши дни рассуждения на тему добавочных пространственных измерений и сколь угодно экзотических топологий не вызывают внутри ни малейшего напряжения. Мы потихоньку привыкаем к математическим абстракциям, призванным заменить первобытно-наивное представление о пространстве, и столь же простое ощущение времени. Но оставим теоретические игры ученым физикам. Философ устроен иначе: он не может запросто принять на веру формалистические банальности — тем более, когда они идут вразрез с тривиальным чувственным опытом. Как бы далеки ни были мы от навязывания Вселенной старинного догмата трехмерности, у нас есть потребность в интуитивно последовательной концептуальной основе для сколь угодно тонких формальных различий. Поэтому будет полезно (по крайней мере нескольким чудикам) отложить на время раскручивание математических монстров и вернуться в лоно типично физического (или, скорее, естественнонаучного) подхода, рассуждать, исходя из нескольких качественных замечаний — а потом, на этой основе обозначить круг допустимых формализаций.

Складывается стойкое впечатление, что в литературе (как научной, так и популярной) свирепствует эпидемия подмены понятий. Если что-то в физике названо так же, как один из математических конструктов, это не повод считать физику и математику одной наукой. Физическое пространство имеет мало общего с пространствами математическими — не больше, чем «горячая штука» говорит о степени нагретости небольшого предмета. Наука не делает терминологию с нуля. Начинается всегда с неясных представлений обыденной жизни, которые впоследствии оказывается возможно рассовать по абстрактным полочкам, именование которых несет на себе печать многовековой истории. Если по ходу дела складывается новое научное понятие, мы первым делом пытаемся к нему приспособить подходящее (то есть, интуитивно оправданное) словечко естественного языка; не получается — берем первое попавшееся, или творим неологизмы. В любом случае, без заимствований не обойтись — и разные науки делают это по-разному, в рамках собственной логики. Ясно, что и математическая идея пространства, и пространство как физический объект восходят к одним и тем же практическим действиям — но отождествлять на этом основании физику с математикой было бы такой же вульгарностью, как принимать обезьян за предков человека (или наоборот).

В некотором смысле, представление о пространстве в математике возникло в результате обобщения простой физической идеи, связанной с нашим обыденным восприятием движения. Но стоит нам превратить такой образ реальности в формальную структуру — он допускает какие угодно геометрические, топологические и прочие вариации, в отличие от физического пространства, которое предполагает все это лишь частным образом, в составе синкретического целого, как его стороны, неразрывно связанные друг с другом вполне определенным образом, а отнюдь не в произвольной комбинации. На следующем витке, физика заимствует у математики идею формального пространства и скрыто подменяет исходное физическое понятие абстрактной структурой, *априорной* основой всякого физического исследования. Заниматься объективным изучением пространства уже, вроде бы, и незачем — тем более глупо задаваться вопросом об отличии пространства от времени. На деле это означает утрату специфики понятия: физическое пространство уже ничем не отличается от любой другой характеристики физических систем, поскольку практически что угодно возможно «оцифровать» и представить точками формальных математических пространств. Числа не пахнут. Исходно математические конструкты — лишь (условные и ограниченные) представления физических реалий; потом мы забываем про

условность и ограниченность подобных представлений и наивно (или злонамеренно?) заявляем, что наши частные модели и *есть* сама физическая реальность, так что больше и думать не о чем.

Та же логическая ошибка на каждом шагу встречается и в математике, которую некоторые пытаются представить всего лишь наукой об обозначениях, подмножеством формального языка. Но даже очень маленькие дети знают, что слово «шоколад» вовсе не так вкусно, как настоящая плитка шоколада, а многие взрослые вынуждены с сожалением констатировать, что разговоры о деньгах имеют мало сходства с реальной наличностью.

В принципе, у физики есть одно примечательное отличие от математики, которое во многом объясняет их принципиально разную роль в иерархии всех вообще наук. А именно: математикам до сих пор не удается узурпировать физическое понятие времени, тогда как в физике время пока играет фундаментальнейшую роль — как ни пытаются его оттуда вытравить некоторые теоретики, гонящиеся за математической строгостью в принципиально нестрогой физической науке. Математика и физика представляют собой, в этом смысле, две взаимно дополнительные научные парадигмы: статику и динамику, *структуру* и *систему*. Математика показывает, как устроен мир; физика объясняет, как он функционирует. Есть и еще одна, столь же универсальная парадигма — иерархия (дополняющая бытие и движение *ростом* и *развитием*); однако эту идею трудно связать с какой-либо конкретной наукой.⁶

Парадокс: если у нас на все только одна наука — у нас вообще нет никакой науки. Новое знание рождается в сопоставлении с другим; не с чем сравнить — нечему научиться. А значит, попытки свести все науки к чистой математике (или еще какому-нибудь общему для всех основанию) подрывают саму идею научности. Гипертрофируя общность, мы пренебрегаем различиями — а именно они, на самом деле, составляют содержание всякого знания. В том, что физику можно излагать на математическом жаргоне — или, скажем, в указании на физические свойства атомов и молекул как универсальную основу химических реакций, — нет ничего интригующего; куда труднее (а значит, интереснее) показать, в чем физика несводима к математике, почему химия не сводится к физике, а биология к химии, и чем психология принципиально отличается от физики и физиологии. Собственно, это и называется феноменологией: суметь представить себе предметную область целиком, до и вопреки всяческой формализации. Только так мы можем в реальной жизни нащупать границы применимости абстрактной теории — и тем самым указать возможные альтернативы, перспективные (как в научном, так и в практическом плане) направления исследования.

Принимая важность феноменологического подхода, можно критически пересмотреть наши теперешние воззрения на природу пространства и времени. Разумеется, любые оценки избирательны — исчерпывающий анализ по определению невозможен. Завершенная наука — мертвая наука. Физическая картина мира возникает из сопоставления всевозможных частных моделей, взаимодействие которых порождает целостность более высокого уровня. Это и есть собственно физический подход к познанию.

Попробуем представить себе, как могла бы выглядеть такая феноменология. В дальнейшем слова «пространство» и «время» относятся (если иное прямо не оговорено) к физическому пространству и времени соответственно.

1. Пространство и время предполагают движение материальных тел.

Всякая физическая система — это прежде всего какое-то количество взаимодействующих друг с другом материальных вещей. А значит, чтобы оставаться в рамках физической науки, мы обязаны говорить о вещах вне субъекта, какое бы участие не принимали они в человеческой

⁶ Идея развития — выходит за рамки науки как таковой. Наука имеет дело с уже установившимся, относительно постоянным, а не с тем, чему только предстоит появиться. Но некоторые науки, вероятно, способны лучше других передавать какие-то стороны иерархической рефлексии. В качестве ближайшего приближения, можно было бы представить себе некую сугубо практическую науку, в которой теория напрямую увязана с экспериментом и наблюдением, — что-то вроде компьютерного моделирования (с участием искусственного интеллекта), только без лишнего пиетета в отношении математических основ и физической реализации. Скорее всего, выработка универсальной научной парадигмы развития не обойдется без участия гуманитарных наук.

деятельности. Само собой разумеется, что большинство вещей, с которыми мы имеем дело, изготовлены людьми; однако в физике мы занимаемся не их происхождением, а тем, как они умеют двигаться независимо от их изготовителя или наблюдателя, предполагая, что любая подобная система будет вести себя так же в сходных условиях — и неважно, окажется где-то рядом человек или нет. Мы с самого начала сознательно отказываемся от всякой субъективности, заменяя возможное общественно-историческое влияние условиями движения и наложенными на систему связями. Физический эффект, наблюдаемый в людях или животных, должен точно так же наблюдаться и без животных или людей (то есть, мы можем найти нечто подобное и в неодушевленной природе — или разработать технологию, автоматизирующую те же процессы, воспроизводящую их без нашего участия). Например, если некоторые особенности физиологии мозга приписать действию особых физических сил, — те же силы должны проявляться где-нибудь и без чьего бы то ни было мозга, объективно приводя к таким же последствиям. В противном случае, следует, скорее, заключить, что наблюдаемые эффекты представляют собой результат совместного действия уже известных физических сил, который лишь *выглядит* так, как будто он обусловлен особой физической силой. Например, в атомной физике, мы вводим в рассмотрение «дырки» в электронных оболочках, которые математически ведут себя как независимые частицы, взаимодействующие с электронами — хотя на самом деле никаких новых частиц нет, и тот же результат можно получить (хотя и не так элегантно) из уравнений для самосогласованного движения атомных электронов.

Существуют и другие представления о пространстве и времени, без явного обращения к физическому движению. Так, психологическое пространство-время — это совсем не то же самое, что физическое, хотя любая психика — не более чем надстройка над уровнями физики и физиологии. Нечто подобное пространственно-временным отношениям легко обнаружить и в истории, и в логике, в вычислительной технике — но эти их черты лишь очень косвенно и отдаленно связаны с физическим пространством и временем.

2. *Пространство и время объективны.*

Поскольку пространство и время относятся к не зависящему от субъекта физическому движению, они и сами существуют в физических системах безотносительно к участию их в человеческой деятельности. Если физические тела никто не наблюдает — они остаются теми же самыми физическими телами, со всеми тонкостями их пространственно-временной организации. Обратно, не бывает физического движения вне пространства и времени. Поэтому физический подход к проблеме пространства-времени начинает с признания их независимого существования в природе — и выводит возможность наблюдения из их природных свойств, а никак не наоборот.

3. *Строение пространства и времени определено характером движения.*

По сути дела, характер движения как раз и проявляется через соответствующие пространство и время. Традиционная картина физических тел, двигающихся *в* пространстве и *во* времени — не более чем метафора. Объективность пространства и времени — другого рода, нежели объективность материальных тел и их движения. Пространство и время не существуют сами по себе, как самостоятельные сущности; это лишь объективные стороны движения материи.

Однако физическое движение может иметь и другие стороны, не относящиеся к его пространственно-временной организации — и требуется понять, чем разные характеристики движения отличаются друг от друга. Когда мы интересуемся «вторичными» особенностями физических систем — это не устраняет из физики пространство и время, они остаются где-то на заднем плане в качестве общего принципа организации. Например, говоря об изолированной физической системе в целом, мы можем абстрагироваться от деталей внутреннего движения, или от расположения системы по отношению к внешним телам; формально это приближение предполагает однородность и изотропность. Точно так же, в стационарном движении складывается некая общая картина, и нам все равно, какие именно «низкоуровневые» движения привели к ее образованию; более того, попытка исследовать отдельные пути формирования глобальных особенностей неизбежно привносит в систему долю нестационарности.

4. *Пространство и время — взаимно дополнительные стороны движения.*

Предполагается с самого начала, что они различны, и даже противоположны — хотя и невозможны друг без друга. Для количественной оценки мы вправе выражать расстояния через время, или сводить время к делениям пространственной шкалы; это никоим образом не делает пространство и время физически одинаковыми. Сама возможность подобных подстановок вытекает из характера движения.

Для сравнения: в механике существует известное соответствие между координатами и импульсами тел, так что в потенциальных полях можно выбрать из соображений удобства либо конфигурационное, либо импульсное представление. Но в физическом плане координаты все-таки отличаются от импульсов. В общем случае, любое измерение так или иначе выражает одну величину (характеристику исследуемой системы) в единицах другой (состояние прибора). Ни физическая система не превращается при этом в экспериментальную установку, ни наоборот. Можно измерить ширину экрана компьютера обычной линейкой — но линейка все равно не будет вместо экрана отображать текст. Точно так же, текст живет конечное время — но живет он не в часах.

Различение пространства и времени — это типично физическая проблема, отличающая физику от ее математического жаргона. Без такого различия физическая система просто недоопределена. Формальные представления могут быть сколько угодно относительно — но как таковые пространство и время физической системы остаются теми же при любых способах описания. Другими словами, пространственно-временные характеристики движения могут (но не обязаны) быть сопоставлены с динамикой другой физической системы (которая в таком случае называется системой отсчета); очевидно, результаты такого сопоставления зависят как от самой системы, так и от системы отсчета. Но сами по себе пространственно-временные характеристики движения не связаны с тем, как и чем мы их представляем, они существуют до и независимо от измерения как объективные свойства физической системы. Это, в частности, означает, что для правильного воспроизведения особенностей физического движения система отсчета не выбирается произвольно — ее строение должно соответствовать строению и динамике изучаемой системы. Например, можно говорить о физической эквивалентности любых систем отсчета, которые движутся относительно друг друга со скоростью, меньшей скорости света; если же какая-то система отсчета движется относительно нас быстрее света — она просто несовместима с нашей «локальной» динамикой (что не запрещает существования иных типов динамики, требующих «нелокальных» систем отсчета).

5. *Пространство и время не выводятся из физических состояний или событий.*

Для внешнего наблюдателя (другой физической системы) движение любой физической системы выглядит как поток физических *событий*, изменений *состояния* системы. Однако эта картина может меняться от одного наблюдателя к другому. В частности, тот же самый объект может многими способами участвовать в нашей деятельности — и каждый такой способ требует особой физики, и подходящего ее описания. Одни из таких способов будут опираться на пространственно-временные формы, другие — не будут. Так, для пилота воздушного шара важно контролировать температуру и давление внутри баллона — а наземный наблюдатель просто засекает пространственное перемещение баллона как целого; эти два наблюдателя интересуются разными физическими событиями — хотя, например, высота полета может представлять практический интерес для обоих. Разумеется, присутствие человека-субъекта не имеет никакого физического значения. Для испущенного атомом фотона все равно, где находится испустивший его атом; напротив, для свободного электрона его расстояние до ионного остатка имеет решающее значение, ибо от этого зависит характер взаимодействия.

Часто представляют возможные состояния физической системы точками некоторого абстрактного конфигурационного пространства, и тогда всякий физический процесс выглядит как переход от одной конфигурации к другой (что можно иногда проиллюстрировать графиком или трехмерной картинкой). Хотя такие перемещения по видимости напоминают обычное

пространственное движение, они все же существенно отличны от него. Абстрактное конфигурационное пространство может быть любой природы — его размерность и топология отражают характер физических взаимодействий в системе. Например, в атомной физике конфигурационное пространство атома гелия — комплексная бесконечномерная структура, сочетающая дискретные компоненты с областями непрерывности. Элементы этого пространства (состояния физической системы) можно в общих чертах описать комплекснозначными (или операторнозначными) распределениями в некотором внутреннем евклидовом пространстве — тем самым физика атома, вроде бы, соотносится с обычными пространственно-временными представлениями. Однако внутреннее пространство не предполагает никаких наблюдаемых перемещений, а внутреннее время (выстраивание цепочек событий в конфигурационном пространстве) никак не связано с «макроскопическим» временем (в котором атом меняется как целое). Некоторые теоретики пытаются убедить себя и публику в том, что конфигурационное пространство и внутреннее время — это и есть подлинная и единственно существующая физическая реальность; но что это нам дает для понимания природы физического пространства и времени? Отказ от решения проблемы — не лучший способ с ней справиться.

Иногда пространственные отношения включают в понятие физического состояния — в других случаях они скрыты за другими, более существенными реалиями. Соответственно, физические события могут быть «реальными» (то есть, происходить в физическом пространстве и времени) или «виртуальными» (не относящимися к наблюдаемому поведению системы). Однако в любом случае представление физического движения цепью элементарных физических событий (изменений состояния) зависит от уровня описания: одно и то же движение можно соотнести с разными последовательностями событий — и для каждого такого представления требуется особая физическая теория.

б. Пространство и время предполагают физическое взаимодействие, но не всецело определяют им.

Хотя пространство и время определены характером движения, они выражают его лишь в очень общем и фундаментальном плане. Несомненно, вещество влияет на свойства пространства и времени. Но не обязательно так, как это представляет себе большинство физиков. Общая теория относительности — гениальная догадка; но еще надо угадать, о чем же все-таки мы догадались. Уравнения движения описывают структуру конфигурационного пространства, вырезая из всех вообще возможностей некоторое замысловатое многообразие. Но это вовсе не обязательно соотносится с пространством и временем. Действительно, все известные физические взаимодействия (по крайней мере, в рамках «стандартной модели») по сути оказываются своего рода надстройкой над пространством и временем: они лишь вносят симметрии и накладывают связи так, чтобы взаимодействия обладали требуемыми свойствами — но сам пространственно-временной фон к этому безразличен. Так, например, специальная теория относительности есть выражение симметрий электромагнитных процессов, а общая теория относительности говорит о локальных симметриях гравитации. Те, кто еще склонен доверять физической (а не формально-математической) интуиции, легко заметят, что пространство и время в современной физике предшествуют динамике — это ее предпосылка, а отнюдь не следствие. Чтобы склеить из пространства и времени релятивистский интервал, нам предварительно требуется то, что можно было бы склеивать. Чтобы обсуждать связность или кривизну, нам требуется то, что можно связать или искривить. В самых навороченных физических теориях всегда можно обнаружить скрытую подложку плоского пространства-времени; аналогично, сколь угодно отвлеченные математические построения в итоге приводятся к фундаментальным примитивам, вроде точки и связи.

Иначе говоря, пространство и время представляют особые, несводимые к взаимодействию отношения между физическими телами. В общих чертах можно было бы соотнести это с самим фактом соотносительности разных вещей и процессов; в философии для выражения таких идей есть категория рефлексии — плюс иерархия частных ее проявлений. То или иное взаимодействие,

очевидно, связывает вещи определенным образом — это частный случай рефлексии. Но на одном уровне рефлексии совместимы самые разные взаимодействия; с другой стороны, не отдавая себе отчета в сделанных предположениях, мы заперты в собственных предрассудках, и наткнуться на что-нибудь оригинальное можно лишь по счастливой случайности.

7. *Пространство как тождество и время как различие.*

В основе идеи пространства лежит представление об одновременности. Пространство есть то, что может совместно рассматриваться *в данный момент*. Обратно, время есть то, что относится *к данной точке пространства*. Другими словами, пространство соединяет разные вещи, делает их эквивалентными в смысле принадлежности одному и тому же времени (моменты времени при этом играют роль классов эквивалентности). Время сопоставляет вещь с самой собой, делает ее отличной от себя — и здесь появляется то, что мы называем развитием.

В формальном плане это различие начисто стирается, поскольку всегда возможно трактовать многомерное пространство как последовательность «срезов», эффективно уменьшая размерность. Например, куб в евклидовом пространстве часто представляют бесконечностью квадратов, нагромождая один поверх другого. В результате создается впечатление временной последовательности — поскольку точки каждого слоя определенно принадлежат некоторому классу эквивалентности, представленному соответствующим значением «высоты». Но сама возможность подобной формализации обусловлена имеющимися у нас представлениями о движении, в действительности порождающем куб за счет изменения положения одного и того же квадрата со временем. То есть, времениподобное поведение пространственных измерений есть явление вторичное, проекция пространственного смещения в пространство, скрывающая временной аспект движения, представляющая его в свернутом виде. Движение не уничтожается как таковое — оно лишь становится *виртуальным*. В реальном движении описываемые движущимся телом фигуры — *вовсе не тела*; их можно сравнить со следами движения на фотографии с большой выдержкой. Мы можем мысленно рассечь вещи на слои меньшей размерности только потому, что есть и другие размерности, обеспечивающие возможность действительного перемещения в соответствующем направлении. А значит, полное слияние пространства и времени в современной теоретической физике — не более чем иллюзия, а в формальном плане — логическая ошибка.

Относительность пространства и времени умозрительно оправдывают тем, что в двух системах отсчета, движущихся друг относительно друга, значение понятия «в той же точке» как будто не остается неизменным. Это закономерно требует относительной одновременности — так что переплетение пространства и времени необходимо принять как фундаментальный физический факт. Такие рассуждения логически ущербны. В самом деле, предполагается, что системы отсчета сопоставимы — то есть, существуют физические события, общие для всех. Мы допускаем, что каждое такое событие относится к некоторой вполне определенной точке физического пространства и к определенному моменту времени, но численные величины, представляющие события в каждой из систем (пространственные координаты и моменты времени), могут различаться у разных наблюдателей. На самом же деле относительное движение приводит к различиям в самом понятии «физическое событие». Точка пространства в одной системе отсчета не соответствует точке в другой системе — там она превращается в линию, траекторию движения (или пространственное распределение). То, что один наблюдатель воспринимает как событие, для другого — процесс (детерминированный или стохастический). Следовательно, формальные преобразования координат, устанавливающие соответствие точек точкам, ничего не дают для понимания физики дела. По-честному, нам следовало бы показать, как траектории превращаются (свертываются) в точки, а точки развертываются в траектории. Иерархический подход говорит в таких случаях об обращении иерархий.

Любые поточечные отображения возможны лишь на общем фоне *единого пространства-времени*, хотя бы и по-разному оцифрованного разными наблюдателями. Тогда физическое движение может быть понято как упорядочение событий в одном и том же пространстве, и

порядок во времени сохраняется от одной системы отсчета к другой. Все что остается — чисто количественные различия, при сохранении общей физической картины. Это накладывает серьезные ограничения на характер рассматриваемых взаимодействий: мы просто запрещаем физической системе выходить за рамки предписанной ей «усеченной» динамики.

8. Пространство и время возникают до и независимо от измерения; взаимодействия порождают шкалы.

Физическое движение объективно: оно не зависит от того, обнаруживает его кто-нибудь или нет, и производит ли при этом какие-то измерения. Разумеется, мы может повлиять на динамику физической системы — но это лишь означает, что при корректном рассмотрении следует учесть все существенные физические взаимодействия, включая физические проявления человеческой деятельности. Следовательно, общий характер движения (выраженный в понятиях «пространство» и «время») также не зависит от каких-либо внешних (то есть, неструктивных) взаимодействий. Тем не менее, даже относительно слабые взаимодействия способны внести вклад в состояние системы, не меняя динамики в целом. Наблюдая такие «инфинитезимальные» реакции, мы судим о строении системы и в частности о ее пространстве и времени.

Эффекты, связанные с влиянием стандартного зондирования можно проиллюстрировать весьма далеким от физики примером — теорией образования звуковысотных шкал в музыке.⁷ Показано, что примешивание слабого локального возмущения приводит к возникновению глобальной шкалы, позволяющей сопоставлять далекие друг от друга элементы целого. Однородность исследуемой системы (то есть, возможность воспроизвести те же структуры по отношению к любому элементу) делает шкалу квазидискретной, составленной из отдельных сплошных зон, каждая из которых представляет возможный результат измерения расстояний между элементами. Количество и размеры зон зависят от селективности зондирования. Наконец, в каждой шкале виртуально присутствуют подшкалы, зоны которых не всегда соотносятся с зонами основной шкалы. Свои отношения есть и между этими уровнями. Такая иерархическая структура не произвольна; она полностью определяется свойствами основной шкалы («вложена» в нее).

Хотя особенности внешних проявлений свои в каждой системе, качественная картина образования шкал всегда одна и та же. Поэтому мы вправе делать (сколь угодно метафорические) выводы о физическом пространстве и времени, исходя из свойств музыкальных строев.

Прежде всего, мы приходим к выводу, что шкалы не принадлежат самой наблюдаемой системе — это своего рода «артефакт», зависящий от способа наблюдения. Тем не менее, пока речь идет о некотором стандартном методе зондирования, возникающие шкалы объективны, и все, что мы можем — это «настроить» наше восприятие на один из имеющихся уровней. При использовании другой методики исследования набор доступных шкал может измениться, вплоть до полной несовместимости с исходным. Следовательно, чтобы выделить класс сопоставимых систем отсчета, мы должны указать некоторое взаимодействие, общее для всех членов класса. В релятивистской физике роль такой общей основы играют слабые электромагнитные поля; постоянство скорости света в этом контексте не физический факт, а указание на класс явлений, с которыми мы собираемся иметь дело.

Далее, каждая шкала допускает разные масштабы в рамках единого пространственно-временного фона. Характерные длины и времена могут быть разными — однако иерархия качественно различных картин не произвольна, она задана базовой шкалой. На высших уровнях иерархии мы не различаем движения более низких уровней, и для нас соответствующие физические события происходят в одной точке и в заданный момент времени. В этих пределах оправдан формализм релятивистской физики — как один из уровней описания. На той же основе понятна и квантовая физика, понимающая наблюдаемые макроскопические структуры как результат внутреннего (виртуального) движения.

⁷ L. V. Avdeev and P. B. Ivanov, “A Mathematical Model of Scale Perception”, *Journal of Moscow Physical Society*, **3**, 331–353 (1993).

Наконец, в любой конкретной шкале (даже с учетом иерархии вложений) существуют детали, неразрешимые ни при каком измерении; для их обнаружения необходим переход к иному понимаю пространства и времени.

9. *Пространство и время характеризуют как отношения тел, так и отдельные тела.*

Как соотношение различных материальных тел, пространство проявляет себя в качестве *расстояния*; по отношению к любому отдельно взятому телу, оно выступает как его *размер*. Аналогично, два события могут быть разделены некоторым временным *интервалом* — тогда как каждое единичное событие характеризуется некоторой *продолжительностью*. Различие и взаимосвязь внешней и внутренней определенности — одна из труднейших логико-философских проблем. Но чисто физически очевидно, что размер тела измеряется расстоянием между его наиболее удаленными друг от друга частями, а продолжительность события соответствует интервалу между его началом и концом. Обратное, расстояния между телами определяют размер составной системы, а интервал между двумя событиями определяет длительность составного события, включающего исходные. Другими словами, есть иерархия тел и событий, так что внешние отношения одного уровня становятся внутренними отношениями другого, и наоборот. Такое свертывание и развертывание иерархий — не просто умственное упражнение, поскольку оно предполагает возможность физической реализации, действительной (практической) группировки и перегруппировки вещей. Если нельзя (хотя бы очень косвенно) связать две вещи физическим взаимодействием, говорить о составной системе мы не имеем права. Разумеется, всякую здравую мысль можно довести до абсурда. В итоге, пропагандисты метода сильной связи в физике атомных столкновений отрицают физическую осмысленность автоионизационных состояний в атомах и ионах: действительно, резонансы, возникающие в процессах неупругого рассеяния, вполне возможно описать на низком уровне, как переходы между состояниями непрерывного спектра. Наоборот, в физике высоких энергий всякий резонанс трактуется как свидетельство возникновения виртуальной частицы, реальное физическое событие.

Возможны разные варианты образования составной системы из нескольких материальных тел и связывания несколько событий в одно событие более высокого уровня. Традиционное комбинирование параллельных и последовательных соединений — самое очевидное. Скажем, звезда и планета образуют системы с размером значительно превышающим размеры каждого из взаимодействующих тел — тогда как электронная и ионная компоненты межзвездной плазмы занимают в точности то же самое пространство. Аналогично, либо мы сначала смещаемся вдоль оси X , а потом вдоль оси Y , — либо оба движения происходят совместно, параллельно. Уместность декомпозиции определяется наличествующими в системе взаимодействиями и, как следствие, строением ее пространства-времени. Например, чтобы обогнуть городской квартал, придется последовательно миновать два ряда домов — если нам не известен кратчайший путь дворами. Менее тривиальная иллюстрация — мультиплексирование в компьютерных сетях. Как правило, существует набор разных путей, и конкретный выбор связан с историей системы.

Но есть и еще одно проявление пространства и времени, тесно связанное с образованием шкал. В определенных условиях физические тела и события можно описывать абсолютным образом, соотнося их с пространственными точками и моментами времени. Чтобы построить такую *координатную систему*, требуется выбрать несколько тел или событий в качестве опорных, предполагая, что их пространственно-временные характеристики стабильны в пределах рассмотрения. Практическая реализация этой жесткой конструкции — не самое легкое дело. В большинстве случаев мы лишь надеемся, что выбор окажется достаточно разумным; практические результаты покажут, насколько решение оправданно, и при случае потребуют пересмотра основных предпосылок.

Каждый конкретный выбор опорных тел и событий задает *систему отсчета*. Как уже говорилось, разные системы не обязательно соотносятся друг с другом. Эквивалентность систем отсчета устанавливается только локально, для ограниченного набора физических систем.

10. Пространство и время могут материализоваться в динамике физических систем.

Философия говорит, что всякая вещь возникает путем придания некоторому материалу определенной формы. Физики представляют материальную сторону мира понятиями вроде массы или энергии, тогда как рефлексивная (идеальная) сторона указывает, в частности, на пространство и время. Но с философской точки зрения само различие материала и формы относительно: формы становятся материей, материя проявляет себя как разновидность рефлексии. В самом деле, возьмем несколько вещей, каждая из которых есть единство своего материала и своей формы, и составим из них составное тело; тогда по отношению к этой новой вещи исходные тела играют роль материала (а форма задана способом объединения) — так что форма составных частей (которая есть нечто идеальное, всего лишь отношение тел) должна каким-то образом превратиться в материю более высокого уровня. Нет абсолютного материала, не бывает априорных форм. Движение материальных тел способно само стать материальным телом.

Для современного физика это почти тривиальное утверждение. Однако материя вовсе не обязательно представлена массой, и в будущем, возможно, физике потребуются иные (более структурированные) представления. И все же мы можем быть уверены, что и на новом уровне мы встретим все ту же дополнительность пространства и времени, и обнаружим знакомые структуры в самых неожиданных контекстах. С другой стороны, сегодня мы лишь постулируем эквивалентность массы и энергии, не задумываясь о ее физическом объяснении. Но не следует ограничиваться чисто формальным преобразованием. Надо выяснить физический механизм, устанавливающий такую эквивалентность, — а значит, указать границы применимости и пути обобщения. Иначе говоря, привычная нам взаимосвязь физических величин — это, скорее, постановка вопроса, а не готовый ответ; обоснованность выбора еще предстоит показать.

В качестве намека: вспомним, что время и энергия становятся дополнительными представлениями одного и того же в контексте некоторого колебательного движения: чем выше частота осцилляций, тем больше запасенная в них энергия. При наличии нескольких уровней движения с очень разными характерными временами, движение низшего уровня скрыто от наблюдателя вышележащего уровня, и все, что он обнаруживает — это увеличение внутренней энергии (массы) наблюдаемых на его уровне тел. Возможно, что колебательное (циклическое, самовоспроизводящееся) движение не менее фундаментально, чем простое движение по прямой. Может случиться, что мир в представлении физики будущего окажется иерархией циклов воспроизводства, и уже не ограничится пространством-вместительством и монотонным временем. Это согласуется с общефилософскими идеями о единстве мира: все в нем, и нет ничего другого, а поэтому любое существование и любое событие — лишь единичные способы (уровни) его воспроизводства.

Ослепительные прозрения

В тысячелетней истории физике известны многочисленные удачные догадки, которые в конечном итоге приводили к перестройке всего здания физической науки. Конечно же, самым ранним и наиболее революционным открытием стало само осознание существования природных закономерностей, которые не требуют сознательного вмешательства и возможны при определенных обстоятельствах безотносительно к присутствию разумных (и просто живых) существ. Как только мы принимаем мир таким как он есть — становится возможным все остальное. Без этого нет науки. И философствовать не о чем.

Напрашивается вроде бы очевидный вывод: допуская существование чего-то вне круга опыта нынешнего человечества, мы можем ожидать случайной встречи с вещами, очень далекими от всего человеческого, — из которых складываются особые миры, где все не так как у нас. Однако научной мысли понадобилось много веков, чтобы избавиться от наивного антропоморфизма хотя бы в нескольких областях современной физики — и есть в науке

обширные области, где антропоцентризм без проблем пережил XX век, причем с хорошими перспективами на следующий. И все же наша способность представить себе необъятные космические дали, кишачие галактиками, — или бесконечность недоступных взору, но вполне постижимых тонких деталей мироздания, — это уже существенный шаг вперед, к теоретической скромности и разнообразию взглядов.

Два крупнейших достижения начала XX века: расширенный принцип относительности и обобщенное понятие наблюдения — стали руководством к действию для всех последующих физиков. Несмотря на их кажущееся различие (и даже противоположность), речь идет об одном и том же: объективность в природе выступает в форме симметрий. Первобытные мечты о единичных «совершенных» формах в основании Вселенной эхом звучат на новом уровне, в изысканно математическом одеянии.

Нет необходимости распространяться по поводу продуктивности этих фундаментальных идей, их практической пользе. Симметрии уравнений и граничных условий напрямую связаны с симметрией фазовых потоков; годится любой из этих вариантов описания — поскольку они говорят о той же физической реальности. Часто важные результаты можно получить, даже не зная деталей динамики, из общей структуры модели. Релятивистские и квантовые устройства давно и прочно вошли в повседневную жизнь людей. Наука объяснила черты Вселенной в диапазоне 80 порядков величины. Впечатляет, не правда ли?

К сожалению, яркие идеи не только освещают умы. Иногда они могут и ослепить.

Как только нам удастся изобрести новое удобное орудие труда — мы тут же начинаем внедрять его в обиход, приспособлять к нему свою деятельность, набить руку так, чтобы решать проверенным и надежными методами поступающие задачи без лишних усилий. Тем самым наши действия уже не мотивированы насущными потребностями, а обусловлены имеющимися возможностями. Если у Вас нет ничего, кроме молотка, — все вокруг становится подобно гвоздю. Наука плавно перетекает в инженерию, и вкус открытий уже, вроде бы, и ни к чему. Вопрос «почему?» сразу отменяют как философскую демагогию, а в обязанности науки вмещается лишь вычисление — учет и контроль.

Само по себе оно, вероятно, неплохо — если уметь вовремя остановиться. Внутренняя неудовлетворенность некоторых не должно нарушать душевный комфорт большинства. Появится действительная общественная потребность — научная революция разразится с дикой внезапностью слепой судьбы. Философ может пробормотать что-то насчет несовместимости разума с интеллектуальной слепотой... Ну и пусть сомневается: это все, к чему он годен.

Однако польза есть и от глупых сомнений. По крайней мере, лично тому, кто сомневается. Хотя бы потому, что само наличие сомнений — какая ни на есть, но определенность. Так, можно убедить себя в том, что не найдется такого молотка, чтобы вся Вселенная послужила бы для него гвоздем. Стандартизируя одну процедуру — мы отмечаем миллионы других. Но что одному хорошо — для другого сущий кошмар. Всякая теория осмысленна только в контексте более широких взглядов, которые и указывают на то, что все это означает. Формулы ничего не объясняют — они только формулируют. Однако ту же мысль можно формулировать тысячами способов, а могут быть и такие мысли, для которых нужна совершенно новая формулировка. Втискивая физику в горстку фундаментальных принципов, мы убиваем ее как науку. Наука не для того, чтобы постулировать устройство мира — она его лишь отражает.

Точно так же, математики столетиями пытались привести эту науку к универсальным основаниям — и все напрасно. Открывая одну дверь, мы видим сотни других дверей; отвечая на один вопрос — порожаем другой. В итоге у нас есть несколько альтернативных математик, каждая из которых по-своему последовательна — и столь же безосновательна. Потому что основания не могут быть формальными.

Сегодня многие физики еще пытаются вывести физику из «строгих» математических принципов. Не глупо ли верить в математику больше, чем она верит себе?

Несколько десятилетий назад лавиной пошли формалистические трактаты с названиями вроде «Основания физики», «Геометрическая физика», «Логическая физика», «Квантовая и

прочая физика как теория систем» и др. Их авторы подходили к делу солидно и систематически, так что практически все содержание известных физических теорий удавалось впихнуть в изобретаемые ими аксиоматические (или нумерологические) системы. Добавило это хоть что-нибудь к нашему пониманию физического уровня природы? Чистый ноль. Вся эта систематика и номенклатура порождает лишь конструкции *ad hoc*, из которых не вытащить ни одной свежей идеи. В качестве философского эксперимента это могло бы сгодиться. Но вовсе не как исследование научной методологии.

Возвращаясь к определенности в сомнении, заметим, что язык дифференциальной геометрии, на котором принято изъясняться в современной релятивистской механике и в квантовой теории поля, изначально малопригоден к описанию нестационарных явлений. Формально это вылезает в виде разного рода математических сингулярностей. Для вменяемого физика всякая формальная бесконечность означает лишь неприменимость обычной геометрии в критических областях и необходимость поиска адекватных формулировок. Разглагольствования относительно физических сингулярностей — не более чем метафоры, растиражированные популяризаторами и превращенные в ходячий предрассудок. В результате даже некоторые физики начинают всерьез верить в черные дыры и Большой взрыв.

В природе науки — поиск регулярности, массового воспроизводства того же объективного поведения. Никакая наука не связывается с единичностями. И это правильно: зачем нужна наука, если на ее основе нельзя организовать нашу повседневную работу, из одного дня в другой? Однако столь же бесполезна наука, в которой нет хотя бы минимальной перспективы, что позволило бы нам сознательно лепить будущее, выбирая подходящее из возможного. Принципиальная стационарность научной теории дополняется критическим отношением к существующим формам знания и открытостью по отношению к любым альтернативам (или даже их поиском). Главная цель науки — построение пучка взаимно дополнительных моделей, применимых в пределах соответствующего островка стабильности; переходы от одной зоны стационарности к другой нам при этом не доступны, они вообще вне науки. Да, мы можем обнаружить регулярность способов перехода и сделать это предметом научного исследования. Это породит еще одну науку, со своими пределами применимости и необходимостью различных экстраполяций в область за этими пределами (подобно тому, как это происходило в истории нелинейной динамики). Междисциплинарные науки никогда не сводят данные разных наук воедино — они развиваются в собственной (независимой) предметной области, их формализм не «переводится» на язык других теорий, даже в асимптотическом смысле. Так, термодинамику нельзя вывести из механики или физической кинетики — и наоборот, термодинамические соображения никак не влияют на развитие этих наук. Каждая из трех — независима и следует собственной логике, в пределах своей предметной области. Аналогичным образом, общая теория относительности может дать разумное описание структуры гравитационного поля вдали от массивных объектов; внутри этих тел нам требуется иная теория (или хотя бы другая формальная модель в рамках того же, подобно внутреннему решению Шварцшильда). Говорить же о том, что происходит на границе внутренней и внешней областей (конечно же, исключая всякую мысль о физических сингулярностях) можно лишь построив новую теорию, отличную от «внешнего» и «внутреннего» описания.

Необходимость перехода к другой модели на границе области применимости сразу напоминает о хорошо известных в физике фазовых переходах. Это не гладкое преобразование — само понятие границы предполагает качественные изменения, скачок. На каком-то другом уровне граница может сгладиться — или вообще исчезнуть. Но переход от одного уровня к другому — тоже скачок, и, вообще говоря, не существует прямого соответствия между моделями разных уровней.

Можно сказать, что именно необходимость как-то работать с такими существенно нестационарными процессами, — с резкими переходами от одной контролируемой области к другой, качественными скачками, — привела к появлению квантовой физики. Как известно, квантовая теория лишь вводит еще один тип стационарности, и наблюдаемые нестационарные

эффекты можно считать своего рода артефактами, следствием смены уровня описания, перехода к статистическим («макроскопическим») ансамблям вполне детерминированных виртуальных («микроскопических») движений. Некорректное смешение уровней приводит к мистическим интерпретациям квантовой механики, к мысли о том, что простым усилием воли, в силу присутствия человека-наблюдателя, можно повлиять, скажем, на свет от далеких звезд.

Геометрическая картина пространства-времени — вполне рабочая модель для каких-то областей нашего опыта. Но что мешает нам заниматься поиском других представлений, возможно, применимых в более широкой области, вплоть до иерархии шкал, каждая из которых характеризуется своим диапазоном скоростей. К сожалению, замороженные явным успехом релятивистской теории современные физики совсем забросили попытки изобрести что-либо необычное, вырваться из клетки релятивизма. Мы слепо принимаем, что Вселенная должна быть многообразием $3+1$ (или $N+1$) измерений, и вопрос о специфических условиях и пределах применимости подобного объединения — из раздела религиозных табу.

Вообще говоря, какая угодно размерность должна быть понята как свойство физической динамики. Да, всяческие «теории всего» уже включают свертывание и развертывание пространственных измерений на каких-то энергетических порогах (а энергия — другая сторона времени). Но такие теории все еще исходят из абсолютной «фоновой» симметрии, которая может лишь нарушаться по-разному, но никак не превратиться в симметрию другого рода или сочетаться с дополнительными симметриями совершенно иного типа. Формализм теории групп подавляет творческое воображение, подсовывая нам клоны той же самой теории вмести чего-то качественно нового. До сих пор так никто и не объяснил, зачем время надо упрямо запутывать с пространством, хотя в любой теории оно играет привилегированную роль. Даже ребенку понятно, что изготовить ящик можно лишь как-то прикрепив его стенки друг к другу; точно так же, чтобы построить двумерное пространство, нам нужен какой-то «клей» для соединения одного измерения с другим, а если надо приделать к пространству время — нужен совсем другой, специальный «клей». Динамическая размерность уже получила права гражданства в нелинейной динамике — пусть даже в форме ограничений на строение пучков в «классическом» пространстве-времени. Почему бы тогда не подумать о порождении пространства подобно тому, как квантовые многочастичные системы возникают в результате действия операторов рождения и уничтожения? Развертывание и свертывание размерности можно было бы трактовать точно так же. Разумеется, и эта картина по-своему ограничена, и нельзя исключать существования пространственно-временных (или каких-то еще) понятий за пределами нашего сегодняшнего опыта (или даже за пределами любого опыта вообще).

Когда мы в том же духе, ничтоже сумняшеся, постулируем эквивалентность инертной и гравитационной масс — мы волевым решением прекращаем обсуждение вопрос и природе массы, о ее происхождении и возможных проявлениях, об определении физических условий относительной (или локальной) эквивалентности. Формальная красивость затмила физический смысл.

Опять же, требуя стационарности действия в рамках вариационного формализма, мы уходим от обсуждения нестационарностей (или других уровней стационарности). Принцип минимального действия восходит к простым соображениям равновесия, практически важным для средневековой архитектуры. Ньютонова динамика может быть выведена из подобного квазиравновесия, с добавлением фиктивных сил, связанных с движением тел (а это по большому счету оправдывается многообразием форм энергии и их взаимными превращениями). Однако такая стационарная динамика неявно основана на существовании динамических симметрий — поэтому известные теоремы Нетер содержат, по сути, логический круг.

Можно еще долго перечислять примеры ослепительных озарений в разных областях физики. Только зачем? Первый принцип научности: в науке нет ничего кроме моделей, а каждая модель работает лишь в пределах своей области применимости. Модно сделать любую науку совершенно строгой, если к каждому ее утверждению добавить слова: «там, где это применимо». В научных текстах мы обычно опускаем это указание — исключительно для краткости. Однако

прозрачности стиля не следует добиваться ценой ясности мысли. Ограниченность любых формулировок никуда не денется. Автору приходится много подразумевать — читатель должен мысленно восстановить предметный контекст. Когда в математике мы определяем функцию — мы должны задать ее область определения и область значений. Выписывая интеграл, мы подразумеваем применимость интегрального представления в соответствующей предметной области. Предлагая группу симметрии, мы должны ясно осознавать, что всякая симметрия лишь приближительна, и наши результаты не годятся для менее симметричной динамики (или на другом уровне стационарности).

Законы науки подобны законам юриспруденции: они говорят нам, что считается допустимым, — но ничего не запрещают. Закон предписывает типовое поведение в стандартных ситуациях; в серьезной заварушке от законов толку мало. В конце концов, на основе суммы прецедентов появятся новые законы, и возникнут новые рамки легальности. Но природа — величайший преступник всех времен: нет такого закона, который она не могла бы нарушить. Давайте относиться к этому спокойно и с юмором. Ошеломляющие идеи — не повод для мистического ступора: они должны делать нас зорче, а не туманить взор.

О нелинейной кинематике

Традиционная ньютонова динамика — формальное выражение ранних представлений человека о движении, которое, по современным меркам, было крайне медленным — даже на уровне обычной городской жизни, далекой от релятивистских скоростей. Точно так же, понятия размера и длительности вырастают из компактных вещей и завершенных событий повседневной жизни, которые физика решительно экстраполировала на гораздо большие масштабы. Поначалу людей интересовало лишь то, что непосредственно к ним относится, происходит в ближайшей окрестности; отсюда антропоцентризм старой физики, существенно линейной в количественных оценках и предполагающей экстенсивное развитие, когда что-то большое можно получить простым соединением многих крошечных кусочков. Всем было ясно: если приложить линейку дважды — мы получим вдвое большее расстояние, а переворачивая песочные часы два раза мы отмеряем вдвое большее время. Исходно, физическое понятие пространства сводилось к бесконечной сумме миниатюрных линеек. Несоизмеримость длин, которая так волновала математиков, не имела большого значения для физиков, поскольку «физические» точки могли оставаться довольно большими — пока их размеры «бесконечно малы» по сравнению с типичными длинами в исследуемой системе. Любые расхождения в пределах ошибок измерения на практике можно игнорировать. Например, физик может говорить об инфинитезимальном объеме газа, имея в виду, что каждый такой элемент объема все еще содержит огромное количество молекул, что позволяет нам оставаться в рамках термодинамического описания. Аналогично, время казалось суммой элементарных длительностей, достаточно малых, чтобы четко маркировать физические события в пределах погрешности часов. В это «плоской» физике было вполне естественно характеризовать механическое движение скоростью — количеством пространственных единиц покрываемых в несколько единиц времени. Пройденное расстояние тогда получается суммированием «бесконечно малых» отрезков пути преодолеваемых телом за единицу времени. Физические взаимодействия (силы) могут изменить скорость — но эти изменения всегда остаются за пределами точности измерений и могут поэтому считаться независимыми от пространственного перемещения, то есть, принадлежать еще более низкому уровню иерархии (что, очевидно, устанавливает верхний предел для допустимых скоростей). Независимость разных уровней движения и возможность их суперпозиции — еще одно проявление линейности модели.

Сильные стороны этой простой картины — обратная сторона ее исходной концептуальной слабости: наблюдаемое поведение системы оказывается различным в зависимости от способа наблюдения, от произвольно выбранного (физического) масштаба. Например, периодический

процесс, на каком-то уровне представленный гладкой кривой, будет выглядеть хаотическим движением, если временная шкала наблюдателя гораздо грубее характерного периода; в других шкалах тот же процесс покажется стационарным состоянием (точка, несколько точек, или пространственная форма — тело). Сама возможность переходить от одной шкалы к другой — это уже нарушение линейности, при том что никакая линейность невозможна без комбинирования очень разных уровней в одной теории. В этом смысле объединение времени и пространства в понятии искривленного пространства-времени оказывается логическим завершением той же линии. А заодно и ее завершением — поскольку релятивистское сокращение времени и длин неизбежно входит в противоречие с условием физического разделения уровней линейной модели. Новой физике еще предстоит обследовать девственные края за пределами принципа суперпозиции.

Сугубо для иллюстрации, допустим, что в рамках гладкого мира ньютоновской механики, возможно более сложная картина перехода от одной точки к другой, а не просто аддитивное смещение. Традиционно мы записываем:

$$x(\tau) = x(0) + v\tau.$$

Это равенство недвусмысленно намекает на бесконечную малость пространственных смещений в ходе собственного движения системы по сравнению с диапазоном движений, используемых для построения системы координат (системы отсчета):

$$\langle v\tau \rangle \ll \langle x(0) \rangle.$$

Таким образом, скорость и время должны быть вместе достаточно малы. Стремление компенсировать значительные длительности медленностью движения — или, наоборот, высокие скорости малостью времени, — потребовало бы дополнительного размежевания уровней, и следовательно отхода от физической однородности. В некоторых ситуациях это законный технический прием. Бесконечно медленные изменения, очевидно, соответствуют обычному адиабатическому пределу, тогда как противоположный случай мгновенных переходов во внутреннем пространстве приводит к вариациям на квантовые темы. Тем не менее, обе противоположности используют существенно нелинейную процедуру сопоставления двух уровней иерархии, с очень разными физическими характеристиками. Обычно для этого используют разного рода статистические методы.

В простейшем случае можно было бы ввести нелинейность посредством добавления в формулу для траектории движения слагаемого, квадратичного по времени:

$$x(\tau) = x(0) + v\tau + \xi(v)\tau^2,$$

что (для ограниченных v и ξ) выглядит как учет ускорения; однако здесь мы имеем в виду чисто *кинематическое* правило, без допущений о каких-либо физических силах, ответственных за наблюдаемый эффект. В некоторых случаях этот тип нелинейности может быть *локально* представлен эффективной силой. Однако такое представление ниоткуда не следует, как только мы переходим к глобальной структуре пространства-времени. Так, постулируя эквивалентность физического взаимодействия и эффективных (кажущихся) сил, связанных с неинерциальным движением наблюдателя, мы экстраполируем локальные наблюдения на всю Вселенную — а это логическая ошибка. Вышеприведенная нелинейная форма для смещения (сложения длин) физически означает, что локальная геометрия может меняться со временем. Для быстрых движений этим эффектом можно пренебречь — но он все же может оказаться важным в космологических масштабах. Более того, при больших временах τ , линейный член оказывается несущественным:

$$x(\tau) = x(0) + \xi\tau^2,$$

а это может относиться к стационарной системе ($v = 0$), испытывающей нечто вроде «космологических» флуктуаций. Можно считать этот закон сложения обратным к формуле диффузии, где расстояние пропорционально квадратному корню из времени.

В качестве альтернативы, можно было бы заключить об ортогональности кинематики на другом уровне иерархии:

$$x^2(\tau) = x^2(0) + q\tau^2,$$

что в некоторых случаях можно аппроксимировать как

$$x(\tau) = \sqrt{x^2(0) + q\tau^2} = x(0)\sqrt{1 + q\tau^2 / x^2(0)} \sim x(0) + q\tau^2 / 2x(0),$$

тем самым возвращаясь к той же квадратичной нелинейности — с единственным отличием, что «космологическая» добавка теперь зависит от расстояния (что, впрочем, может оказаться весьма привлекательным в физическом плане). Конечно, есть и другие возможности — и ни одну из них нельзя предпочесть по чисто формальным критериям. Выбор диктует практическая потребность. Однако простое допущение различных кинематических платформ — неплохое лекарство от концептуального застоя и преувеличения универсальности нынешнего уровня наших знаний.

Светлая мысль о темной материи

Людям свойственно протестовать против любых ущемлений их свободы, всеми правдами и неправдами рваться к недостижимому. Как только на дороге глухой забор — мы тут же спрашиваем себя: а что за ним? — и тут наша фантазия с лихвой компенсирует скудность предлагаемого на первых порах опыта. По факту, мы все же не умеем вообразить себе что-либо совсем необыкновенное, не похожее ни на что. В итоге вместе подлинной природы всяческих «трансцендентных» вещей — какие-то антропоморфные конгломераты. Но свою роль стимула, моральной поддержки и предвкушения они честно отрабатывают. И в самом деле: если мы можем хотя бы размышлять о том, что скрывается за стеной, — стена уже не абсолютно непроницаема; даже если там вообще ничего и никого, мы вправе заселить пустоту нашими порождениями — от смутных представлений до массовой индустрии.

В частности, как только заходит речь о Вселенной в целом, — наша космологическая мысль тут же поднимает вопрос о множественности миров, а удивительная полнота знания об обычной материи немедленно толкает нас на поиски чего-то не столь обыкновенного. Вроде, полным-полно вполне наблюдаемых вещей, с которыми можно играть до бесконечности; но нет нам счастья, пока не изобретем мы эдакую мистическую неощутимость, темную материю, которую не уловить никакими известными науке способами — а значит, есть простор для самых экзотических концептуализаций и попыток измерить не весть что. Удивительнейшим образом оказывается, что весьма значительная доля наблюдаемого не может быть объяснена без участия выдуманной нами таинственной субстанции, так что любознательному человечеству самое время заняться освещением этого модного и многообещающего уголка бытия.

Для философа такое положение дел вряд ли будет неожиданным. Мир качественно бесконечен; одну и ту же вещь можно рассматривать под очень разными углами. Наука ведет к знанию. Мудрость помнит о том, как мало мы, по сути дела, знаем. Да, знать — всегда хорошо; но невежество — не позор, хотя и может быть большим несчастьем. Постыдно — намертво прилепиться к уже известному и отбиваться всеми силами от всего прочего.

Сегодня, когда тема темной материи стала в астрофизике столь же избитой, как Большой взрыв или черные дыры, — со столь же необъятной экспериментальной базой, — может показаться, что обнаружение темной материи и пристегивание ее к нашей всеобъемлющей математике физического мира — вопрос (не очень далекого) времени. Мы прекрасно умеем строить приборы, позволяющие всецело подтвердить великую правильность наших догадок. Пока же всяк волен угадывать, как сие диво дивное могло бы выглядеть.

Почему бы и нет? Вероятно, мои личные предпочтения далеки от академического мэйнстрима, — но почему бы не разрешить маленькое невинное удовольствие себе — и, быть может, кому-то из тех, кому случится прочесть эти строки до эпохи, когда темная материя станет не таким уж темным делом.

Большинство популяризаторов подают темную материю как особую субстанцию, с необычными характеристиками и способами взаимодействия, не укладывающимися в стройное здание стандартной модели всяческих фундаментальностей. Но в контексте философских развлечений, такой подход не вызывает особого энтузиазма: ну что такого в том, чтобы открыть еще одну физическую силу? — это сейчас скучная обыденность. Не то, чтобы стандартную модель нельзя было улучшить и расширить, — напротив, она просто обязана расти. Возможно, какие-то варианты темной материи вполне вписываются в колею такого, экстенсивного развития. Но есть у меня подозрение, что и наши старые знакомые способны засветиться неординарно, если вдруг появится возможность поглядеть на них не так, как всегда. Стандартная модель воздвигалась вокруг и на потребу человечества: она идеально приспособлена к описанию всего, что мы видим здесь и теперь; но почему бы не допустить, что она же годится и для того, чтобы посмотреть на нас чьими-то еще глазами — и придать краскам нашей жизни чуть больше интенсивности.

Например, задумаемся о возможных эффектах относительного движения материальных тел. И, пожалуйста, не надо жужжать мне в уши полнейшей исчерпанностью темы в эпоху повсеместной победы релятивизма. Если что-то подразумевается само собой на протяжении десятилетий и веков — это вовсе не свидетельство разумности. Можно, допустим, усмотреть логическое противоречие между результатом наших трудов по возведению ковариантной Вселенной и положенными в основу этого строительства идеями — и в первую голову понятием системы отсчета. То есть, сначала мы допускаем, что наблюдатель может представить себе пространство-время целиком и построить систему координат, не допускающую никаких исключений; однако потом вдруг оказывается, что какие-то части пространства-времени для него совершенно недостижимы, поскольку он заперт наглухо в тюрьме своего светового конуса. Логическая непоследовательность налицо. Какой бы успешной ни оказалась такая теория в обычных на сегодняшний день приложениях, она вряд ли может серьезно претендовать на роль чего-то, пригодного для Вселенной целиком.

Как оно обычно бывает, человечество переварило релятивистскую физику — переработало ее в набор мертвых словечек, и люди уже не задумываются над тем, что говорят. Не говоря уже о том, что любая формальная сингулярность говорит о концептуальных проблемах и требует разработки более продвинутых моделей, стоит хотя бы внимательнее приглядеться к следствиям общепринятой теории (очень даже полезной в пределах своей области применимости). По сути дела, эйнштейновская относительность есть констатация того факта, что использование света в качестве единого для всех способа коммуникации не позволяет сравнивать наблюдения в системах отсчета, движущихся относительно друг друга быстрее света. Но разве это не очевидно с самого начала? Чтобы пообщаться, такие наблюдатели должны искать иные переносчики информации. При этом никоим образом не запрещено ни их быстрое относительное движение, ни взаимодействие по каким угодно каналам. Два наблюдателя могут обмениваться световыми сигналами, пока скорость их относительного движения не очень велика; однако они оба останутся невидимыми для кого-то третьего, по отношению к кому их связка перемещается чересчур резко. Впрочем, этот третий волен найти себе компанию в своем световом конусе — и уже не заботиться о той шустрой парочке. В такой модели пространство-время обладает своего рода ячеистой (или решеточной) топологией, а существам внутри одной ячейки будет казаться, что их ограниченная Вселенная — это верх мечтаний матушки-природы, в полном соответствии с мнениями нынешних физиков.

Тут мы упираемся в темную материю. Есть бесконечность релятивистски разделенных миров — и для узников каждого светового конуса масса материи, не принадлежащей их миру, ошеломляюще превосходит все, что они способны наблюдать. Модные писатели громко заявляют, что темная материя может составлять до 99% массы Вселенной; учитывая, что вне нашей камеры бесконечность других, — это недостаточно смелое предположение.

Так что? Неужели мы обречены на вечное одиночество, без малейшей надежды вступить в контакт с нашими очень быстрыми (или очень медленными) коллегами? Вряд ли. В своем

световом конусе сверхсветовая (темная) материя остается все той же старой знакомой, и для ее полноценного описания вполне годится наша стандартная модель. Поскольку же тела разных световых ячеек имеют ту же физическую природу, они способны взаимодействовать друг с другом. Остается только догадаться, как сверхсветовой электрон ведет себя в присутствии медленного электрона, — и то же самое выяснить для прочих обитателей стандартной модели. Может случиться, что некоторые пришельцы из-за бугра примут вид обычных полей и частиц; какие-то еще проявят себя как кажущиеся сингулярности или, по крайней мере, беспричинные, на первый взгляд, события, вроде спонтанного нарушения симметрии в каких-то фазовых переходах. Природа не обязана выбирать только один путь.

В качестве простенькой иллюстрации, посмотрим на материальное тело, очень быстро движущееся в ограниченном объеме. Для обычного наблюдателя, оно будет выглядеть как заполняющее весь объем поле. Внутреннее (сверхсветовое) движение полностью скрыто, и все, что мы получаем на выходе, — усредненное влияние всей совокупности виртуальных взаимодействий на наш макроскопический мир, нечто вроде спектра. Такова общеизвестная квантовая парадигма. Наш собрат-физик, сидящий внутри элементарной частицы, должен будет основательно поработать, чтобы мы не могли приписать внешнее движение этой частицы сугубо физическим силам; точно так же, в нашем мире подобная деятельность, вероятно, предполагает перестройку материи в масштабах видимой Вселенной.

При оптимистическом сценарии, мы все-таки научимся когда-нибудь посылать сигналы иной, не зависящей от электромагнетизма природы, и тогда световые барьеры станут прозрачными. Кросс-барьерные взаимодействия станут обычным делом, и движение всякого материального тела будет сочетать явления разных уровней иерархии. Хотя, конечно же, я допускаю, что иерархическая организация природы (и физического мира в частности) — для кого-то не самая свежая новость.

Об инерциальном вращении

Со времен Галилея мы привыкли: если на тело не действуют никакие силы, оно движется равномерно и прямолинейно. И наоборот. А значит, для двух наблюдателей, движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга, силы в любой физической системе будут одинаковы.

Позже, после парочки научных революций, силы превратились в поля и связности на многообразиях, а равномерная прямолинейность уступила место движению по геодезическим. Однако это ничего не меняет по существу, ибо опирается на то же представление о локально плоском пространстве (даже если формально прикрутить к нему время).

А что если пространство таки не плоское? Даже локально? Или плоское — но в каком-то не том смысле?

У современного физика, приученного к математической безответственности, постановка вопроса сама по себе принципиальных возражений не вызывает: прекрасно, пусть будет не плоское — тогда какое? В куче игрушечных «теорий всего» и так хватает топологических извратов — можно ли предложить больше? Ну, больше вряд ли, а, вот, глубже — есть куда копнуть...

Не скажу, впрочем, что перспектива нетривиальной философии может нынешних ученых сколько-нибудь обрадовать. А вопрос философский: о первичности. Которая, конечно же, относительна, — но не настолько, чтобы в каждом конкретном случае полностью отсутствовать. Так вот, наш вопрос в философском плане выглядит так: что может быть первично по отношению к «инерциальному» движению? Казалось бы, проще некуда. Полнейшая свобода — лети себе, перпендикулярно лбу... Но у человека политически грамотного тут же закрадываются сомнения. Всякая свобода не сама по себе — это свобода от чего-то и для чего-то. Только в сказках буржуазной пропаганды витают идеи абстрактной свободы вообще, безотносительно к времени

и месту; на деле же «общечеловеческие» ценности оказываются ценностями буржуазными, а всеобщая свобода сводится к «естественному» праву капиталиста грабить всех подряд и железной рукой пресекать любые посягательства на его священную собственность. Точно так же, разговоры о свободном движении в физике запросто могут оказаться подспудным протаскиванием все тех же буржуазных абсолютов — и появление галилеевой механики не случайно совпадает по времени с эпохой становления капитализма. Впрочем, это лирическое отступление для особо продвинутых; а из физических соображений — можно посомневаться в реальности никак не взаимодействующих друг с другом тел и осуществимости инерциального движения.

Действительно, каким образом могло бы проявить себя абсолютно свободное тело? Оно никого не знает, его никто не видит... И никому ни для чего не пригодится. Другими словами — его просто нет. А когда и есть, то совсем не на физическом уровне, а в качестве чего-то бестелесного, абстрактной идеи. Если не впадать в религиозную дикость, такие (идеальные) образования суть свойства и отношения вещей, а не вещи как таковые; в этом смысле мы и говорим об их вторичности. Разумеется, всякая противоположность относительна, и различать уровни мы имеем право только в контексте. Однако это не отменяет иерархического упорядочения в каждой конкретной ситуации.

Говорить о движении (в частности, механическом) возможно только по отношению к чему-то, принимаемому (на данный момент и в данном отношении) за неподвижное. Как возможно подобное соотнесение? В классической механике наблюдатель играет роль небожителя, запросто увязывающего одно с другим и выстраивающего единую для всех систему отсчета. Здесь тоже абстракция: всеобщая связь в философии есть, по сути дела, определение субъекта. Если исключить наблюдателя (как и положено собственно физической науке), остается требование взаимодействия, влияния одного тела на другие. Внешнее различие тел сказывается на их внутреннем состоянии. В каких-то случаях (и в каком-то отношении) состояние одного тела меняется меньше, чем состояние тел, с ним взаимодействующих, — и такая относительно устойчивая физическая система объективно играет роль системы отсчета. Следы взаимодействия с разными телами интерферируют в такой системе, несколько тел совместно представлены в одном. Стоит разрушить эту совместность — и никакой связи не будет, и развалится физическая система на несколько разных систем.

Классическое воспитание по-прежнему заставляет думать в одну сторону: есть система отсчета — и есть тела, движущиеся по отношению к ней. Даже если мы позволим себе сменить систему отсчета — мы и на новом месте получим все ту же картину. Когда физик говорит о переходе в собственную систему одного из взаимодействующих тел — это метафора, технически полезное жульничество; по логике, система отсчета не может быть связана ни с каким из представленных в ней тел — это образование более высокого уровня, устойчивая система тел. Но поскольку представленность в системе отсчета означает взаимодействие, отвлекаясь от влияния системы отсчета на движущиеся по отношению к ней тела можно лишь в абстракции; следовательно, сама возможность сопоставления связана с косвенным взаимодействием физических тел через систему отсчета. Иногда это малая поправка — и мы приходим к классической физике. Но бывает и наоборот: система отсчета активно выстраивает физическую систему, навязывает ей особый характер движения, который вовсе не свойствен тем же телам «самим по себе» (то есть, взятым в другом отношении). Таковы квантовые корреляции; таким же способом общество заставляет человеческий мозг обслуживать культурно-обусловленную деятельность, хотя сам по себе этот кусок плоти от великих деяний далек, и никакого сознания в нем нет.

Но если отказаться от фундаментальности равномерного прямолинейного движения — где искать точку опоры? Ну что ж, зайдем с другой стороны. Я (система отсчета) сижу на одном месте и никуда не двигаюсь; но зато я умею шевелить окружающий мир разными способами (например, посылать пробные тела — сигналы) и регистрировать его реакцию (сигналы извне). Предполагая, что мои сигналы распространяются с одинаковой скоростью во всех направлениях

(а что еще я могу предположить в своем неподвижном мире?), я вычисляю положения и скорости любых физических тел. Заметим, что само по себе получение сигнала еще ничего не означает: когда прибор подвергается несанкционированным воздействиям — это помехи, и с ними физики упорно сражаются на всем протяжении физической истории. Информативны только те сигналы, которые возникают как реакция на наши действия (хотя связь может быть весьма и весьма опосредованной, вплоть до иллюзии «чистого», непредвзятого созерцания). Таким образом, в основе любых представлений о движении лежит схема «вопрос — ответ»; на философском языке это называется рефлексия — «возвращение к себе». Способность рефлексии — вовсе не божий дар, и есть она у любой, сколь угодно ничтожной части мира, равно как и у мира в целом. Как аукнется — так и откликнется; чем повернешься — тем и обернешься. Разные части мира участвуют в рефлексии на разных уровнях; это не меняет главного: исходно любое движение выглядит как регулярное возвращение к себе, воспроизводство самого себя как (относительно) устойчивой целостности.

Остается выяснить, как выразить то же самое на языке физической теории. Не могу порадовать приверженцев статического знания, занятых поисками одной единственной картины мира, истинной на все времена. Одно и то же может по-разному проявлять себя в разных обстоятельствах — и ни одна формальная модель не способна охватить вообще все. Теорий всего не бывает; это вне физики. Тем не менее, на каждом уровне исследования найдутся абстракции, «естественным образом» представляющие всеобщую способность к рефлексии. Одно из таких ходовых представлений — колебательное движение, и в частности, гармонический осциллятор. Выходя за рамки пространственной одномерности, мы говорим о вращении.

На практике обнаруживается, что всякое движение так или иначе связано с вращением: перемещение народнохозяйственных грузов и лабораторных объектов регистрируется по изменениям угла обзора; происходит это на вращающейся вокруг своей оси планете, которая к тому же вовлечена в периодические движения разного масштаба: как минимум, орбитальное и галактическое. Вообще, само существование компактных физических тел предполагает границы поступательного движения составляющих его частиц — а значит, колебания их положений и скоростей в ограниченных пределах. Даже если говорить о коллективных состояниях, вроде внутренностей нейтронной звезды, мы никуда не уйдем от вопроса о колебательных модах движения, обуславливающих возможность и феноменологию наблюдаемого излучения. Закон сохранения вращательного момента ничем не хуже закона сохранения импульса, а обмен вращением столь же популярен во Вселенной, как и перераспределение скоростей.

Напрашивается закономерное предположение: именно вращение есть наиболее общая и фундаментальная форма движения, а бесконечность поступательного движения — лишь иллюзия, связанная с ограничением нашего опыта на почти нулевые углы при сравнительно больших радиусах, когда соответствующие дуги (линейные перемещения) значительно превосходят характерные размеры наблюдателя. Выход человечества в космос потребовал пересмотра представлений и отказа от многих иллюзий; однако идея первичности равномерного прямолинейного движения оказалась прочнее идей об исключительности Земли (или Солнца): первобытный антропоцентризм — сильнее геоцентризма. Наше тело — первый масштаб, тот уровень, с которого мы начинаем развертывание иерархии. Еще долго придется осознавать, что возможны и другие точки зрения.

Принцип инерции в отношении вращения просто меняет форму: при отсутствии внешних воздействий, всякое вращение продолжается сколь угодно долго с той же скоростью. Это не то же самое, что классические законы сохранения, неявно опирающиеся на идею первичности поступательного движения. Если масса движется по окружности, угловой момент постоянен; но в классической механике движение по прямой тоже сохраняет вращательный момент, за счет уменьшения угловой скорости при увеличении радиуса. В инерциальном вращении такой номер не пройдет: мы требуем сохранения именно скорости вращения, безотносительно к радиусу. При новом понимании инерции, никакое «свободное» тело не может двигаться по прямой, его траектория неизбежно будет «закручиваться». Линейность остается лишь как локальное

приближение, на небольших участках траектории вдали от центра, «начала отсчета».

На этом этапе возможность формального использования традиционных теорий ничем не ограничена: мы просто заявляем, что не бывает плоского пространства-времени, что гравитация есть механизм объективного формирования систем отсчета — так с этим никто и не спорит. И нам вовсе не требуется наличие точечных масс — которых, опять же, в природе не бывает. С другой стороны, мы уже привыкли к разного рода «внутренним» движениям квантовых систем; банальный пример самоподдерживающегося вращения — спин микрочастиц: это вращение происходит в некотором особом пространстве, и мы пока просто не знаем физических сил, которые могли бы действовать внутри таких пространств, делать их анизотропными; возможно, на этом пути нас ждет нечто по-настоящему интересное.

Технически, математическая физика использует две взаимно дополнительные концепции: степенные и тригонометрические ряды. И то, и другое весьма полезно. Одну и ту же функцию можно разложить в степенной ряд — или представить интегралом Фурье. Однако теоретическая нагрузка этих формально эквивалентных представлений не одинакова. Степенные ряды — основа динамики; преобразование Фурье — лишь другой аппарат, оказывающийся иногда более удобным. А если наоборот? Если представлять Вселенную иерархией всевозможных вращений (колебаний) — и считать физически значимым изменения состояния вращения, а не просто перемещение из точки в точку?

Трудно сказать, насколько такая точка зрения будет полезна. Степенные ряды встроены в нашу обыденную жизнь, это воплощение поэтапности, перехода от одних целей к другим. Рефлексия в них максимально свернута: мы отмечаем каждое возвращение к началу — и не интересуемся тем, что в промежутке («мертвое» время). В конце концов, всякая позиционная система счисления основана на степенных рядах; да, мы знаем, что можно структурировать количество и по-другому, но рассматриваем такие построения как нечто первобытное, как временные приспособления, полезные лишь до открытия «истинной» науки о счете. Системы счисления на основе рядов Фурье, вероятно, не менее интересны — но мы к такому не приучены. Разве что в некоторых весьма специфических областях (например, в музыке). Из философских соображений, впрочем, следовало бы предположить, что абсолютной «первичности» в мире нет. В каких-то мирах естественным покажется именно вращение; в других воспроизведут нашу «теорию возмущений». Но будут ситуации, когда ни то, ни другое уже не отвечает строению деятельности — и там придется изобретать нечто совсем не похожее (хотя старых знакомых всегда можно встретить где-то в глубине).

В эпоху торжества Стандартной модели и навороченных космологий обращаться к старой обывательской интуиции уже как-то неприлично. Физика-теоретик обладает интуицией высшего порядка, оперирующей абстрактными комбинациями абстракций. И это правильно, это помогает человечеству шлепать семимильными шагами в светлое научно-техническое будущее. Практика, известно, — всему голова.

У не столь железобетонно-кварковых душ иной раз появляется странное подозрение: не слишком ли услужливо природа поддакивает нам в наших поисках истины? Постулировали постоянство скорости света — и на каждом шагу обнаруживаем тому подтверждения. Построили грандиозную теорию фундаментальных взаимодействий — и все предсказанные ею частицы тут как тут. Нарисовали какие-то неравенства — и вот, уже умеем экспериментально их обосновать. Черные дыры, гравитационные волны — сколько угодно. Что хотим — то и воротим.

Безусловно, наши открытия относятся к чему-то реально присутствующему в природе, и наши теории прекрасно справляются со всем этим великолепием. Но опьянение успехом — та же наркомания. Природа вовсе не сводится к тому, что мы в ней успели на данный момент усмотреть. Быть может, мы пока еще не умеем трезво оценить, чем наши достижения обязаны достоинствам метода — а что представляет собой (практически полезный) артефакт. И дает нам Вселенная лишь то, что мы сумели у нее попросить. См. выше о системах отсчета. Крутимся по инерции в своих культурных рамках, а выскочить из них можем только под действием внешней силы — хотя, вероятно, ее неизбежного вмешательства не так уж долго остается ждать.

Откуда растут головы

Если бы руки были ногами,
то голова бы рассталась с мозгами.
Мерайли

Всякому нормальному человеку интуитивно ясно: время таки чем-то отличается от пространства. Мы не можем толком сказать, чем именно, — но это определенно вещи разные; иначе наша жизнь превратилась бы в полную кашу, и не стало бы в ней вообще никакого порядка... Только очень упертые теоретики, далекие от необходимости копать от забора до обеда, могут позволить себе фривольные игры с геометрией, якобы заданной раз и навсегда. Однако же и они вынуждены иной раз мерять грешную землю шагами — и поглядывать на часы.

Тут мы говорим: «Стоп!» — и призываем задуматься о физическом смысле. Который, как ясно всякому (опять же, нормальному) физику, диктуется способом измерения физических величин: собственно, измерение и есть их (практическое) определение. Дальше остается лишь сравнивать разные технологии между собой и усматривать возможность одно заменить другим. Допустим, нет у нас гвоздей, — или молотка, чтобы их забивать, — или стена попалась очень уж железобетонная, — ну и ладно: мы зеркало посадим на монтажный клей, и держаться будет не хуже. Нет спиртометра — градусность напитков оцениваем по количеству отключившихся. Точно так же, физические законы связывают разные физические величины и позволяют нам вытаскивать информацию о том, до чего мы непосредственно дотянуться не можем (или не хотим).

Тупая логика скажет: чтобы отличить одно от другого, достаточно усмотреть процедурные различия... Ан нет! Во многих случаях вещи на вид не различить — и этим, например, широко пользовались античные фальшивомонетки; но товарищ Архимед нырнул глубже — и вывел-таки мошенников на чистую, так сказать, воду! Точно так же, чтобы признать температуру чем-то отличным от длины столба жидкости (или объема твердого тела), надо очень и очень потрудиться: построить аналитическую механику, термодинамику, классическую и квантовую кинетику — и в рамках этой иерархии наук температура будет играть особую роль, несводимую к чему-то еще. Разумеется, нет гарантии, что не объявится башковитый инженер, способный на практике вылезти за границы применимости красивых теорий — туда, где прежние понятия приходится задвинуть в пыльный угол и заняться обустройством на новый манер...

Но, ведь, казалось бы, про это и твердит нам господин Эйнштейн — а за ним и армия проповедников релятивизма, разной степени вульгарности. Дескать, интуитивно ощущаемое отличие времени от пространства — чистейшая кажимость, а на самом деле все едино: нет никакого времени, нет пространства, а есть четырехмерная геометрия с соответствующей сигнатурой. И ничто (упаси бог!) никуда не движется — стоит (или висит?), как вкопанное (неизвестно кем), — эдакий абстрактный арт-объект! И как бы мы ни копошились, изменить ничего в таком геометрическом мире нельзя — да уже и незачем... Кое-кому (кто при деньгах) такая наука очень даже полезна!

Чтобы говорить о фундаментальных различиях, тупой логики недостаточно. Надо залезть еще глубже в абстракции, абстрагироваться от самой абстрактности. И получить не частную теорию, а общий принцип, направляющую идею. Чтобы иметь возможность показать, кто какую идеологию исповедует. И тогда мы сможем на практике следовать заветам Архимеда — в части борьбы с мошенниками. Например, проповедники буржуазного равенства на самом деле очень не хотят, чтобы их равняли с кем попало, и очень ревниво относятся к посягательствам на их движимое и недвижимое, на места у кормушки и банковские счета. Точно так же, скажите многоученному физику, что он не совсем понимает, что делает, — и научное сообщество тут же избавит науку от вашего присутствия. Зачем спорить с дилетантами? — для профессионала их просто не существует в рафинированном мире замкнутой на себя профессиональности.

Геометрическая диктатура свирепствует повсеместно, и бывает забавно, когда философ, порывающийся поделиться с миром своими размышлениями о сути пространственности или

временности, долго и нудно оправдывается, клянется в вечной любви к Эйнштейну, отвергает всякое подозрение в попытках пересмотреть основания современной физики — поскольку физика, по нынешним правилам, всему голова, и всякая философия обязана с ней не просто дружить — но и советоваться по каждой мелочи, просить высочайшего соизволения. Вероятно, тысячу лет назад совершенно так же выглядели совещания с Аристотелем или папой римским.

Но попробуем все же различить два класса измерений, которые не сводятся друг к другу, а объединить их можно только в составе чего-то более высокого.

Если совсем грубо: есть то, что мы можем наблюдать совместно, что способно как-то сосуществовать, — а есть то, что нам доступно лишь одно за другим, и появление одного означает исчезновение другого. В первом случае вещь дана сразу и целиком — «одновременно», на всем своем «протяжении». Во втором случае — есть только смена одной одновременности другой, и собирать из этих мгновенных снимков нечто целое мы можем лишь идеально, через их принадлежность целому другого типа — «времени».

Мы, разумеется, можем выразить параллельность через последовательность, и наоборот. Устраняет это их различие? Нисколько. Оно лишь меняет форму, перетекает на другой уровень. Например, пространство выражено через время некоего «стандартного» движения. Однако при этом все необходимо свести вместе начало и конец движения — взять их одновременно; иначе просто нечего будет выражать. Откладывая отрезок (единицу длины) несколько раз, мы удерживаем вместе последовательность положений — считаем. Но когда речь идет о расстояниях много больше длины мерки, мы сбиваемся со счета, теряем исходную мотивацию, и остается процесс сам по себе, чистое время. Обратное, пространственное представление времени как расстояния, охваченного некоторым стандартным процессом (например, длина волны как выражение периода колебаний), предполагает, что мы можем отличить начало от конца (то есть, не просто рисунок фаз, не стоячая волна, а именно *распространение*, смена положения одной и той же фазы).

В популярной литературе любят рисовать графики движения, располагая по одной оси (например, по горизонтали) пространство, а по другой (вертикально) время. Казалось бы, полная статика, в точном соответствии с идеей геометризации времени. Хорошо. Нарисуйте на плоскости круг. Это что — геометрическая фигура или процесс? В одном контексте — дифракционная картина, в другом — цикл работы тепловой машины... Слышу возражения: когда мы строим график пространственного движения, кривая не может быть замкнутой — время не движется вспять! Ну, во-первых, у кого-то оно запросто может развернуться в любом направлении (вспомним про позитроны); а с другой стороны, и незамкнутая кривая превращается в график только в процессе перечисления ее точек в определенном порядке — время приходится домысливать к геометрии. Далее, в реальной жизни одно и то же можно рассматривать в разных масштабах. Пусть точка совершает колебательное движение с постоянным периодом; его график — синусоида вдоль оси времени (допустим, слева направо). Теперь давайте перейдем к временной шкале, где период колебания пренебрежимо мал. Что мы увидим? Горизонтальную полосу. Что это: виртуальное движение одной точки вверх-вниз — или же стационарное состояние континуума точек — отрезка прямой? Вот вам и основание для отождествления: физические системы принципиально неразличимы на данном уровне — хотя вполне могут разойтись на каком-то другом.

Вернемся к процедурам. Пространство мы измеряем, сопоставляя одну длину с другой; по факту, нам приходится как-то перемещаться вдоль измеряемого и подсчитывать количество (время) перемещений. Время мы измеряем, оставаясь в одном месте: есть часы, которые тикают (как мы надеемся) в постоянном темпе; однако нам нужно уметь отличить «тик» от «так» — и делаем мы это, разнося их в пространстве: стрелка часов перепрыгивает от одного деления к другому, песок пересыпается из верхней емкости в нижнюю, и так далее. Навороченная электроника ничего не меняет по существу: это лишь способ визуализации пространственных различий (желающие могут это проверить в качестве домашнего упражнения).

При изменении масштаба измерения времени, мы рискуем оказаться в ситуации, когда стрелка замирает на одном делении — и время как бы исчезает. Точно так же, циклические измерения в пространстве могут производить впечатление полного покоя: мы меряем, меряем — а мерка и ныне там... Это называется симметрией. Казалось бы, что проще? — возьмите другую мерку, замените часы — и все засуетится. Но жизнь далеко не всегда предоставляет нам выбор, а если и уступает — то не сразу, и не до конца. И не потому, что она такая вредная. Тут есть вполне солидные основания, которые мы называем иерархичностью.

Различие пространства и времени связано со строением мира в целом — а для человека оно выражается, прежде всего, в устройстве человеческой деятельности. Иерархия — это такой способ организации, при котором все взаимосвязано, и если мы толкнем в одном месте — толчок обязательно почувствуют и все остальные, но не сразу, а в определенном порядке; этот порядок называется иерархической структурой: элементы одного уровня отзываются «одновременно», они расположены в одном «пространстве». Что будет, если дернуть в другом месте? Побежит еще одна волна откликов — но порядок станет совсем иным, изменится расположение уровней. Одна и та же иерархия обнаруживает разные иерархические структуры. Понятно, что вовсе не обязательно прибегать к грубой физической силе: мы можем, например, строить теорию этой иерархии — и получать разные теории в зависимости от того, с чего мы начнем.

Конечно, это не вся правда про иерархии — но какое-то представление о происхождении (физического) пространства и времени такая картина дает. Здесь важно, что иерархия всегда предстает в каком-то из возможных обращений. Математик поспешит отождествить иерархию с множеством ее обращений — и зря, потому что у иерархии, помимо иерархических структур, есть еще иерархическая системность, и собственно иерархичность, связанная с процессом развития иерархии, с ее историей.

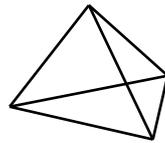
Все обращения иерархии равноправны (поскольку они лишь по-разному представляют одно и то же); в этом идея принципа относительности. Но равноправие тоже относительно: оно имеет место лишь на одном уровне иерархии обращений; в более широком контексте парадигмы приходится пересматривать.

Деятельность человека выглядит последовательностью действий, каждое из которых с чего-то начинается и чем-то кончается, охватывая некоторый объем «культурного пространства» (психологически представленного пространством мотивов). В действии зафиксированы начало и конец — а между ними нечто неопределенное, собственно процесс перехода. По отношению к действию, деятельность в целом есть высший уровень иерархии; для каждого действия есть предшествующие и последующие действия — а деятельность не имеет начала и конца, это абстракция следования, время «в чистом виде». В каждом действии мы успеваем полностью построить его собственное пространство; все остальное — за его пределами, в «бесконечности».

Но то, что служит более высоким уровнем (деятельностью) по отношению к действию, само оказывается действием по отношению к чему-то еще более глобальному. Если посмотреть на действие сверху, с позиций объемлющего действия, начало и конец уже неразличимы, они сливаются в одно — а все, что между ними, вообще выпадает из поля зрения. Так действие свертывается в операцию — в точку, в мгновение. Но это никоим образом не устраняет его внутренней сложности, и в каких-то случаях требуется развернуть операцию в действие, а действие в деятельность. Операция — бесконечно малая, но это не ноль. Проблемы формальных теорий проистекают из чересчур буквального понимания точки (или мгновения) как чего-то совершенно бесструктурного, как абстрактной неделимости, проникнуть в которую уже не дано. Математически это выражается разного рода сингулярностями.

Таким образом, различие пространства и времени связано с разворачиванием вполне определенной иерархической структуры; в другом обращении — другая картина, и формально это выглядит как переплетение пространства и времени: в новом пространстве есть что-то как от прежнего пространства, так и от прежнего времени, и наоборот, количественное выражение времени в новом обращении кажется комбинацией времени и пространства «старого образца». Почему так? Да потому что формальный подход «сплющивает» иерархию, варварски устраняет

многоуровневость методом прямого отождествления. Например, мы можем условно изобразить пространственную фигуру (тетраэдр) на плоскости:



Большинство людей без труда понимают, что имеется в виду, мысленно достраивают еще одно измерение и разводят вершины по разным уровням. С формальной точки зрения — все вершины и все ребра лежат в одной плоскости, и нет никаких оснований предпочесть одну вершину другой. Точно так же некоторые «физики» не отличают пространство от времени, если их формулы изображают все в одной куче. Разумеется, настоящая физика не отождествляет способ записи и суть дела; так или иначе, она вводит в рассмотрение время — даже если приходится пожертвовать «строгой» математикой ради осмысленного результата.

Почему поголовная геометризация все же работает? Потому что обращения иерархии также образуют иерархию, которую можно (и нужно) разворачивать по-разному; в частности, в каких-то обращениях различия между уровнями пространственно-временной иерархии уходят на второй план, вглубь, на нижние уровни; ими в каком-то приближении можно пренебречь. С другой стороны, пока мы используем традиционные средства и принципы измерения, необходимости в новых теориях просто нет. Если, технически, появится возможность переходить между системами отсчета, движущимися относительно друг друга быстрее света, потребуются иначе выстраивать модели пространства и времени.

Всякое измерение сопоставляет одно с другим, мысленно (или практически) делит целое на порции, которые мы (по определению) считаем одинаковыми. Последнее условие по жизни удается соблюсти не всегда: например, измеряя расстояние шагами (а также футами, саженьями, пядями и стадиями), приходится допустить вариации мерки по ходу измерения — но в каком-то приближении это не столь важно, тонкости можно задвинуть на другой уровень иерархии. Как бы тщательно ни подходили мы к выбору единиц измерения, постоянство их — вопрос сугубо практический, и нет никакой гарантии, что в контексте другой деятельности «фундаментальные» константы (включая математические) не поплывут. Но остается главное: физическая величина и единица ее измерения принципиально соизмеримы — и любое количество возникает на фоне неизменного качества. Можем мы непосредственно измерять расстояния часами? Нет, нам надо как-то преобразовать показания часов к пространственным единицам, или наоборот. Традиционный способ — умножение на размерную «фундаментальную» константу, скорость света. Но постоянство приходится постулировать, и единственным оправданием служит тот факт, что в обычных на сегодняшний день технологиях другой опоры для измерений у нас просто нет. То есть, скорость света постоянна только потому, что измеряем мы скорости в единицах скорости света, и никаких других способов пока не нашли.

Точно так же, измерять время расстоянием возможно лишь при наличии практической процедуры для перевода одного в другое. Соответственно, геометризованная физика будет работать лишь там, где такая процедура (хотя бы в принципе) осуществима. То же справедливо и для измерения величин вроде электрического тока или температуры: если современные технологии позволяют связать одно с другим — это выражается в физической теории.

Что все это означает в плане строения деятельности? Если действие можно разбить на несколько действий *такого же типа*, возникает количественная оценка. Например, чтобы перейти из точки 1 в точку 4 за три шага, надо сначала перейти в точку 2, потом в точку 3, и только потом в точку 4. В другом масштабе мы то же самое делаем за 10 или 1000 шагов — но суть от этого не меняется: несколько раз мы повторяем одну и ту же операцию, качественно сопоставимую с действием в целом. Возможность последовательного перехода от начала к концу при помощи однотипных операций называется *непрерывностью*.

Если действие разворачивается в последовательность качественно разных операций — никакой количественной оценки для действия в целом отсюда извлечь нельзя. Например, в предыдущем примере, мы можем сразу шагнуть в точку 3, а оттуда попасть в точку 4, — но шаги при этом будут разными, и не факт, что первый из них удастся свести к двум шагам «единичной» длины (например, точка 2 физически недоступна — запрещена «правилами отбора»). В каких-то случаях, быть может, придется даже сначала прыгнуть в 5, и потом уже отступить назад в 4. Например, по этой схеме работают лазеры. Такого рода организацию действия мы называем *дискретной*. Заметим, что операции как «единицы» вовсе не обязаны быть одинаковыми в каком-то физическом смысле: интервалы между нотами гаммы до-мажор различны — однако в составе тональности они соединяют именно *соседние* ступени.

Вообще говоря, действие разворачивается в иерархию самых разных операций, которые сопоставимы только в одном: они служат единой цели. Чтобы построить дом, надо вырыть котлован, подвести коммуникации, заложить фундамент, смонтировать стены и перекрытия, отделать дом снаружи и изнутри... В каких-то случаях возможно и здесь найти количественную меру: если нас интересует не сам дом, а время строительства, любая операция теряет свое качество и превращается в отрезок времени. Точно так же, качественно разные товары на рынке превращаются в абстрактные стоимости и свободно обмениваются один на другой. Тут же вспоминаем, что стоимость (по Марксу) есть мера общественно необходимого рабочего времени. Можно предположить, что любое вообще количество связано с временем — тогда как качественные различия определяют структуру пространства. В частности, натуральные числа возникают из особой деятельности — перечисления, в которой мы располагаем вещи в определенном порядке, делаем их знаками последовательных моментов времени. В этом контексте вполне понятно, почему размерности физических «теорий всего» прирастают именно пространственными измерениями, при сохранении одномерного времени.

Посмотрим теперь пристальнее на устройство часов. Всякая физически воспринимаемая вещь есть нечто качественно определенное — и значит, пространственное. Качественная определенность означает, в данном случае, что мы можем сопоставлять разные вещи — взять их все вместе, «сейчас». Так, если положение материальной точки в механике характеризуется координатой x , это предполагает сопоставление с некоторой выделенной точкой — началом отсчета; речь идет именно о *разных* точках — если бы они оказались экземплярами одной и той же точки, это было бы уже количественное различие, движение, и надо было бы искать другие качества, чтобы иметь возможность говорить о материальных точках как таковых. Таким образом, сама возможность геометризации (включая построение системы отсчета) предполагает *мгновенное* (на данном уровне иерархии) перемещение от одной точки к другой, и обратно. Чисто по-житейски: посмотреть на одно, посмотреть на другое, — и сказать, чем отличается. Откуда же появляется мысль о максимальной скорости?

Чтобы возникло представление о движении, нужно, как минимум, посмотреть на одно и то же с разных точек зрения. Бывает так в жизни, что приходится заниматься несколькими вещами сразу? На каждом шагу. Но если разные ипостаси вещи сопоставлять напрямую — получится лишь еще одно измерение пространства, все та же статическая картина. Возьмите одновременно сколько угодно нот — это будет (может быть, жутко диссонирующий, но) всего лишь аккорд; как правило, это воспринимается как особая тембровая окраска одной ноты, а вовсе не мелодия, не смена одного звучания другим (чтобы услышать в последовательности звуков аккорд, нужно долго настраивать восприятие, осваивать музыкальную систему). Для «временной координаты» требуется найти нечто такое, что вообще не сопоставимо с описанием состояния физической систем, не характеризует ее с качественной стороны. Нужна вещь (деятельность), никак не связанная с исходной. То есть, речь опять идет о разных уровнях иерархии.

Откуда взять время? Вспомним, что описание вещи отличается от самой вещи, название не совпадает с тем, что им обозначается, формула лишь представляет физический закон, но не является законом сама по себе. Образ в зеркале — вовсе не то, что в нем отражается (хотя иногда можно и перепутать). Когда мы обращаем внимание на то, как мы что-то делаем, — мы перестаем

это делать и переходим к другой деятельности, к рефлексии. Потом мы можем вернуться к исходной деятельности, с учетом опыта самонаблюдения.

В механике материальной точки, следовательно, сопоставляются две деятельности разного уровня: с одной стороны, это «измерение», определение состояния системы (координат точки); с другой — переключение между разными деятельностями: каждое возвращение к деятельности по определению координат — еще один акт измерения, а сопоставление актов измерения во многом похоже на сопоставление точек конфигурационного пространства, что и дает нам «временную координату».

Очевидно, для разведения физического движения и рефлексии по его поводу на разные уровни иерархии требуется соблюдение довольно жестких условий. Определение координат точки должно быть практически мгновенным — полностью укладываться в один акт измерения. С другой стороны, циклический характер рефлексии не должен попадать в резонанс с какими-то характерными циклами собственного движения физической системы — иначе мы можем просто не заметить движения или усмотреть в нем посторонние структуры — артефакты. Простой вариант: измерения проводятся очень часто, так что от одного измерения к другому состояние системы не успевает значительно измениться. Противоположный предел: измерения проводятся редко, и движение системы выглядит случайным, хотя и подчиняется определенной статистике. Если измерение и движение системы не могут быть разделены, возникает «интерференция», появляются «квантовые» эффекты — однако возможны и любые комбинации квантовых и классических черт.

Разумеется, антропоморфный жаргон не следует воспринимать мистически: физика с тем же успехом возникает при взаимодействии вещей самих по себе, без нашего вмешательства; одна из вещей тогда становится зеркалом другой — или наоборот, в зависимости от характера взаимодействия. Люди, конечно, активно вмешиваются в природу, переделывают ее под себя. Однако при этом они не могут навязать природе то, что ей не свойственно, — приходится использовать имеющиеся возможности.

Если цикл рефлексии пренебрежимо мал (но много дольше времени измерения), в качестве часов можно использовать другую механическую систему того же типа: материальная точка движется в некотором пространстве. Тогда измерения сводится к сопоставлению положения двух точек в соответствующих пространствах в акте «наблюдения». Так время приобретает пространственные черты, и можно смело рисовать диаграммы, откладывая по одной оси положение наблюдаемой точки (пространство X), а по другой — положение референтной точки (пространство Y). Например, в качестве «стрелки часов» можно взять фотон, и тогда размерность времени легко получить делением координаты y на скорость света. Точно так же, в двумерном конфигурационном пространстве при определенных условиях можно сопоставлять движения по разным осям (или, допустим, радиальное движение и вращение). Заметим, что речь идет о совершенно разных движениях разных систем (либо о разных аспектах движения одной системы). Такие диаграммы (и соответствующие формальные «пространства») называются фазовыми — в отличие от конфигурационных пространств, в которых разворачивается физическое движение. Геометрия фазовых пространств отличается от геометрии физического пространства, поскольку она опирается не только на способ определения состояния системы, но и на ее динамику — и существенно зависит от способов наблюдения. Например, в качестве второй оси можно выбрать p импульс частицы в точке x — и получить соответствующую фазовую траекторию в качестве одного из возможных представлений движения. Диаграммы (x, t) и (x, p) динамически связаны и могут выглядеть похоже. Для движения с постоянной скоростью это прямая — однако на (x, p) -диаграмме прямая будет параллельна оси X . При движении с постоянным ускорением скорость (или импульс — при постоянной массе) вполне может играть роль времени, и на диаграмме (x, p) мы получим прямую — тогда как фазовое пространство (x, t) окажется «искривленным».

В общем случае, состояние физической системы есть иерархическая структура, способ разворачивания некоторой иерархии. Переход в другое состояние (при сохранении целостности)

предполагает свертывание одной структуры и развертывание другой — обращение иерархии. Движение — процесс обращения, цикл свертывания и развертывания. Эта цикличность служит естественными, или «собственными», часами для физического времени. Разумеется, такое время также иерархично, со своими «характерными временами» на каждом уровне. В каком-то приближении возможно свести иерархию времени к одному-единственному числу — временной координате. Но это не физический подход; искусственность такой формализации рано или поздно потребует разведения разных эффектов по разным уровням.

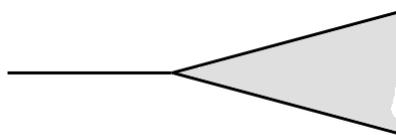
Равновесие в многообразии

Общая теория относительности — несомненно, один из величайших прорывов в истории человеческой рефлексии. Несмотря на все свои логические проблемы, заслуга ОТО в том, что она решительно развернула наше мышление в сторону нелинейности. Предшествующие века предпочитали представлять движение линейно — или хотя бы в линеаризованной форме, — так что любые нелинейности рассматривались как не меняющие сути дела поправки, или чисто статистические артефакты. ОТО постулирует нелинейность на уровне уравнений движения — так что никакими техническими ухищрениями эту принципиальное самодействие из физики не устранить. Спустя десятилетия нелинейные взаимодействия прочно укоренились в теории поля, и уже на уровне кинематики приходится учитывать всевозможные структурные перестройки.

При всем при том, эмансипация нелинейности все еще далека от идейной определенности и потому выглядит чистейшим произволом. Не удивительно, что наиболее эффективные результаты нелинейной динамики в основном связаны с переходом к (квази)стохастичности и хаосу. Это по-своему полезно, поскольку подчеркивает возможность несоответствия наблюдаемой качественно геометрии движения с лежащими в его основе физическими симметриями. Другими словами, набор возможных «мировых линий» в общем случае уже не образует пространства (с присущими ему размерностью и топологией); скорее, это некое многообразие «вложенное» в пространство, заданное законами движения, природой физических взаимодействий. Однако напрашивается следующий логический ход: почему бы не отказаться от единообразия физики и не допустить изменение уравнений движения в процессе движения? Тогда два разных наблюдателя могут по-разному решать, что считать динамическими законами, — и дело не сводится к простому изменению параметризации. Устоявшиеся представления о системах отсчета потребуют очередного обобщения. Нет никакого «объемлющего пространства»; все, что нам дано, — физическое многообразие с динамически меняющейся геометрией.

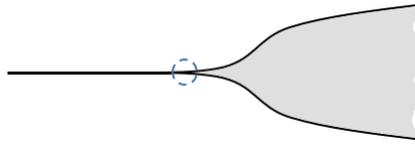
Может показаться, что подобный подход на практике вряд ли осуществим. По большому счету, это размывает саму основу физики как «точной науки», ставит ее в один ряд с разного рода теоретическими спекуляциями, вроде филологии или социологии. С другой стороны, выявление каких-то точек соприкосновения может оказаться довольно продуктивным, требуя введения физических понятий нового типа и стимулируя развитие соответствующих экспериментальных методов, — которые окажутся полезными не только в физике.

Тем не менее, даже в рамках существующих физических теорий (с минимальными модификациями) возможно уяснить некоторые важные аспекты динамики многообразий. Пусть, скажем, локальная размерность движения может меняться от точки к точке — подобно любой другой физической величине. Пока оставим в стороне внезапные (скачкообразные) изменения типа «бифуркаций»:



Здесь предполагается наличие «критической точки», такой, что многообразие одномерно слева от нее, но уже двумерно справа. Ничто не мешает ввести в теорию такого рода дискретность

«задним числом», через сингулярность потенциалов или как квантовый переход. Пока допустим, что изменение размерности многообразия происходит непрерывно:



Физически, нет никакого единомоментного «расщепления»; вместо этого — постепенный переход от одномерного представления к двумерному в некоторой физически (но не бесконечно) малой активной области (обозначенной кружком на рисунке). Внутри этой области размерность многообразия можно представить вещественным числом. Мы давно живем в эпоху фракталов и размерной регуляризации — и уже приучены к (хотя бы формально) нецелым размерностям; поэтому такая непрерывность вряд ли вызовет у кого-то внутренний протест. Если, например, нам нужно описать релятивистское движение частицы, мы просто включаем в традиционное выражение для (инвариантного) интервала дополнительный член, учитывающий изменение размерности:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 \pm \lambda^2 dv^2$$

Здесь размерность движения (в отличие от размерности пространства) представлена (числовым) параметром v ; чтобы привести к единообразию единицы измерения, требуется введение некоторой «фундаментальной длины» λ . Уже на этом этапе возникает немало интересных вопросов для обсуждения. Так, два варианта знака перед вкладом от изменения размерности можно интерпретировать как возможность (и сосуществование) двух противоположных ветвей физики; выбор определенной ветви зависит от наложенных асимптотических условий. На этом уровне «положительная» и «отрицательная» ветви никак не соотносятся друг с другом — что никак не отменяет их связи через какой-то дополнительный уровень иерархии, или в форме квантовых корреляций. Тогда вопрос о знаке в той ветви, где мы сейчас находимся, можно решать в экспериментальном плане.

Заметим, что в отрицательной ветви знак ds^2 может стать отрицательным при достаточно малых смещениях в пространстве и времени ($dx \sim 0$, $dt \sim 0$); это может послужить серьезным аргументом в пользу выбора положительного знака перед вкладом размерности — однако может оказаться, что речь идет лишь о дополнительных ограничениях на движение системы, а присутствие таких связей в отрицательной ветви придает ее физике характерные особенности, которые вполне могут оказаться наблюдаемыми.

Легко видеть, что выбор отрицательного знака приводит к конструкции во многом напоминающей ранние теории типа Калуцы-Кляйна, предшествовавшие современным струнным построениям. Однако интерпретация такого расширенного интервала здесь совершенно иная: вместо отнесения физических процессов к некоему абстрактному пространству фиксированной размерности — предлагается пересмотреть само понятие размерности, учитывая ее изменения в результате физических взаимодействий. Уже сейчас при взгляде на многомерные «теории всего» нас не покидает предчувствие застоя — по той же причине, по которой нас не устраивали ранние пятимерные конструкции: слишком много произвола. Когда в теории есть воздух, возможность тонкой настройки, — это хорошо; когда же такой избыточности перебор — подстройка превращается в подгонку, а строгая наука — в теоретизирование *ad hoc*. При размерной интерпретации «пятого измерения», можно было бы сохранить какие-то полезные результаты — избегая при этом тупиковых размышлений об их природе и происхождении. Как мы в дальнейшем увидим, размерность — «координата» другого типа, непохожая на время и пространство; более того, при этом расширяются и наши представления о строении пространственного блока в выражении для интервала.

В положительной ветви слагаемое размерности становится «времениподобным», и на ум приходят старые идеи вроде многовременного формализма для релятивистской постановки проблемы многих тел. Действительно, в системе N материальных точек исходное количество

степеней свободы формально равняется $4N$: одна временная и три пространственных координаты на каждую частицу. В зависимости от того, как мы накладываем релятивистские связи, получаются разные теоретические модели; некоторые из них вполне могут использовать несколько временных координат. Но и здесь следует отметить отличие размерного расширения от простого добавления временных координат: речь идет о принципиально ином качестве, другом уровне той же иерархии. Ниже приводятся какие-то соображения об иерархии времени, однако серьезное изучение далеко идущих последствий ветвления физики при размерном расширении интервала требует особого трактата.

Лично я полагаю, что любая формальная возможность практически реализуема. Иначе мы просто не смогли бы об этом подумать. Мир ведет себя при нас так, как мы ведем себя в нем. Осваивая новые деятельности, мы открываем другие миры.

Прежде чем переходить к дальнейшему, подчеркну сознательный отказ от использования «приведенного» времени $x^0 = ct$, как его вводят в практически всех других текстах по теоретической физике. Даже если выбрать единицы измерения таким образом, что величина скорости света окажется численно равной единице, множитель c все равно подразумевается в выражении для интервала, поскольку он призван отличить время от пространства. Когда мы устанавливаем соответствие между разными физическими (или иными) величинами, это вовсе не означает, что эти величины одной природы; в противном случае, зачем бы нам устанавливать соответствие? Инвариантность интервала (которую в нашем случае придется, скорее всего, как-то переопределять) — всего лишь род физической связи, наложение которой оправданно в силу практически установленного постоянства скорости света. Это не имеет ничего общего со сведением пространства к времени, или наоборот. Напротив, говорить о формальной допустимости подобного сведения возможно лишь при условии инвариантности релятивистского интервала (то есть, когда на систему наложена соответствующая связь). Поскольку мы добавляем дополнительные слагаемые в выражение для интервала, физическая его природа становится совершенно очевидной. Ясно, что при необходимости возможно ввести еще какие-то члены — подобно тому, как второй закон термодинамики расширяется за счет многочисленных «химических потенциалов». Инвариант теории будет, таким образом, учитывать вклады самых разных физических процессов, а не одного лишь перемещения. Частный случай — учет изменения размерности, как в нашей простой модели. Понятно, что необходимость приведения к единицам длины никак не делает размерность чем-то вроде расстояния.

Для смещений, много больших λ , последний член пренебрежимо мал, и мы сразу же оказываемся в области применимости обычной теории относительности, в пространствах постоянной размерности, в которых точка перехода от одной размерности к другой выглядит непреодолимой сингулярностью, вроде сферы Шварцшильда или «релятивистского барьера».

Тут есть и принципиальный вопрос: а почему, собственно, мы имеем право вводить поправку на изменение размерности в виде квадратичного слагаемого, подобно временной и пространственной компонентам? Вполне может оказаться, что в пространствах переменной размерности следует изменить само понятие расстояния, и сугубо геометрические инварианты превратятся в нечто совершенно иное, что сводится к обычному интервалу только в пределе $\lambda \rightarrow 0$. Сразу вспоминается пример с законом сложения скоростей...

Первый (тривиальный) ответ: а почему бы и нет? Это весьма грубая модель, применимая лишь вдали от границ активной области; и она ничем не хуже другой может проиллюстрировать возможные направления мысли. Она не только не отмечает дальнейших обобщений — но даже предполагает их. Более глубокое обоснование потребует небольшого лирического отступления: обратимся к происхождению вариационных принципов, на которых зиждется вся современная теоретическая физика.

В самом начале, когда человеческая культура во многом была синкретична, наука не особенно отличалась от искусства или философии; в частности, эпоха научной специализации

еще была далеко впереди: физика, геометрия, астрономия, психология и физиология, геология или экономика, — все это лишь разные проявления одного и того же. Главная цель этой рудиментарной науки — поиск равновесия. Слишком подверженное капризам природы, человечество нуждалось в хоть какой-то почве под ногами. Поэтому первые научные законы оказывались по преимуществу статичными: они говорили о постоянном в любом движении. Числа, геометрические фигуры, орбиты небесных тел и т. д. — это примеры универсального равновесия. Некоторые философы последующих веков просто объявляли их чистыми идеями, априорными формами всякого восприятия — и следовательно, единственно возможными формами мысли.

Но здесь мне достаточно отметить практическую важность правильных пропорций в материальном производстве и в экономике. Античным архитекторам приходилось мириться с силой гравитации; всевозможные рычаги позволяли преодолеть недостаточность мышечного усилия; всякое измерение в конечном итоге опиралось на предположение об относительной неизменности как измеряемого, так и инструмента. Установление норм математического и логического рассуждения лежит в том же русле: это попытка зафиксировать столь же равновесные формы мышления — и тем самым заложить основы академической (правильно сбалансированной) науки.

На практике поиск равновесия сводился, главным образом, к тому, чтобы слегка пошевелить конструкцию — и посмотреть, что случится;⁸ всякая устойчивая система должна так или иначе вернуться в исходное состояние. Если диссипативные факторы малы, это возвращение может потребовать немало времени, а в пределе нулевого трения система вообще никогда не успокоится — но это движение все-таки будет по-своему регулярным! Это иное, расширенное представление о равновесии, которое формально проистекает из присутствия неких добавочных (компенсаторных) сил, отвечающих за наблюдаемые отклонения от равновесной конфигурации. Именно так определялись силы в ранних динамических теориях: только с учетом такой компенсации удавалось (хотя бы формально) восстановить общий баланс. В наши дни эти соображения стандартизированы — и равновесие мы ищем, минимизируя значение функционала действия на пучках сравнительно близких траекторий. Понятно, что само наличие равновесия подразумевает какие-то симметрии (то есть, зону допустимых вариаций).

Математически, в точке (локального) равновесия первая производная обращается в ноль; в статистическом плане, в ноль обращается среднее отклонение от равновесия. Таким образом, только члены второго порядка малости могут иметь физический смысл. В частности, определение расстояния в физическом пространстве должно как-то комбинировать именно квадраты смещений; иначе поведение системы не будет достаточно устойчивым, чтобы наблюдалось нечто вполне определенное. Разумеется, это не означает полной невозможности таких «нефизических» движений — но для их наблюдения и практического освоения придется задействовать какой-то иной уровень иерархии, и найти для этой новой физики более общее понятие равновесности.

В качестве полезной параллели — всем знакомое явление диффузии, где ожидаемое удаление от источника пропорционально квадратному корню времени. Аналогично, стандартное уравнение Шредингера линейно по времени — это явное смешение разных уровней описания; несмотря на удобство и практичность, таким теориям недостает внутренней последовательности, и мы вынуждены обосновывать их, выводя как частные случаи более общей схемы.

Исходя из этого, минимальное введение переменной размерности будет опираться на квадрат отклонения, наряду с квадратами всех прочих отклонений. Так мы остаемся в рамках все той же равновесной физики, сохраняем ее вариационный принцип. Достаточно слегка подправить «лагранжиан» — и действовать в привычной манере. Конечно, при выходе за границы активной области могут потребоваться более сложные методы, поскольку внутреннее

⁸ Ср. абсолютно вездесущие доказательства от противного в математике; нечто подобное парадоксу лжеца возникает в системах с высокой добротностью, где переходные процессы продолжаются очень долго.

движение и асимптотическое поведение рассматриваются на равных правах. Однако от обсуждения таких ситуаций я на данный момент воздерживаюсь.

Могут возразить, что смещения порядка фундаментальной длины (при которых начинают играть эффекты изменения размерности) в любом случае слишком малы, чтобы опираться на классическую механику, и надо в обязательном порядке использовать квантовые технологии. Однако это чисто логическая путаница. Квантовая механика ничего не говорит о характерных расстояниях и временах — она занимается исключительно корреляциями. Да, исторически квантовое поведение наблюдалось в микроскопических (по сравнению с нами) системах; однако сегодня мы допускаем квантовые корреляции даже в космосе, для огромных астрофизических объектов, — что уж говорить о бытовых вещах, вроде лазеров или будущих устройств квантовой связи. Со своей стороны, классическая физика никак не опирается на размеры систем. Например, каскады в атомных и ядерных реакциях вполне классичны по природе. Аналогично, нет совершенно никаких оснований отрицать возможность (квази)классического поведения для очень коротких промежутков пространства и времени. Достаточно организовать эксперимент так, чтобы на выходе получать нечто классическое — и никакие кванты нам тогда не нужны.

В конце концов, квантовая физика как таковая представляется своего рода надстройкой над определенной классической моделью (и для этого есть старинный термин: «квантование»). В частности, нам приходится выбирать симметрию теории (строение интервала) прежде чем мы сможем осмысленно говорить о квантовом конфигурационном пространстве. Всякое изменение этой (классической) связи влечет за собой перестройку соответствующей квантовой теории. Соответственно, введение плавающей размерности существенно изменит и классические, и квантовые результаты.

Конечно же, здесь ничего общего с философским релятивизмом, отрицающим само существование физических систем и взаимодействий между ними. Буржуазные философы много раз пытались подменить объективный порядок вещей сугубо психологическими корреляциями или чем-то в этом роде. Это их идеологический выбор, который изначально вне науки; подобные взгляды вряд ли помогут осмысленно обсуждать физику пространства и времени.

Для расширенного размерными вкладами интервала возможны обобщения в духе общей теории относительности, с локальными метриками, зависящими от пяти параметров. Сколь угодно осмысленно обсуждать такие построения возможно только на базе четких представлений о смысле эйнштейновской теории — которая до сих пор не получила приемлемой (и логически последовательной) интерпретации. Ниже я предполагаю ограничиться обсуждением простейших интервалов, — хотя какие-то выводы могут быть справедливы и для общего случая.

На многообразии переменной размерности у нас уже нет возможности напрямую связать локальную размерность с количеством независимых координат. Размерность как физическое понятие представляется иерархией степеней свободы, связей и структур «наблюдателя» — как указано в другой статье.⁹ Пространственное смещение (или неопределенность) dx^2 предполагает, главным образом, измерение вдоль некоторой траектории (мировой линии); эту величину можно по-разному представлять в виде суммы качественно разных слагаемых — и каждое такое представление задает некоторую систему отсчета. Например, для перехода от одномерного в двумерному движению (как на рисунке выше) мы могли бы ввести простые двухкомпонентные объекты — столбцы, в которых «верхняя» компонента относится к полностью развернутому двумерному пространству, а «нижняя» описывает свернутое, одномерное состояние. Если этот «спинор» нормализовать на единицу, мы можем учесть все промежуточные ситуации, когда размерность лежит между единицей и двойкой. А значит, и релятивистское связывание пространства и времени способно принимать две параллельных формы, и придется строить их комбинацию. Точно так же, при развертывании одномерного движения в трехмерное нужны добавочные компоненты, отвечающие за различные направления развертывания. Например, интуитивно привлекательно представление матрицами 2×2 , где каждый индекс отвечает за

⁹ П. Б. Иванов, «Иерархическая размерность» (1984) — <http://unism.pjwb.org/sci/mth/hdr.htm>

развертывание соответствующего пространственного измерения. В вырожденном случае, когда размерность движения постоянна, одна из компонент равна 1, а остальные обращаются в ноль; мы возвращаемся к обычному координатному представлению системы отсчета. Разумеется, возможны и нетривиальные системы отсчета, представленные сложными математическими конструктами. Тем не менее, все такие представления отвечают одной и той же физической реальности, которая никак не зависит от того, что мы о ней думаем. Здесь также допустимо как классическое, так и квантовое описание — или их комбинация. Форма физических законов, конечно же, будет различной для компонент разного типа; вполне может оказаться, что какие-то из элементов нынешней стандартной модели говорят об одном и том же на разных уровнях.

В модели с переменной размерностью полезно помнить о еще одной иерархии, связанной с природой времени. Эта временная иерархия не повторяет описанное выше развертывание пространственных координат, а наоборот, скорее «ортогональна» ему. В каждой системе отсчета имеется «физическое» время, соотносимое с пространственными измерениями. При наличии размерного вклада пространственные координаты представлены иерархическими структурами, однако время системы отсчета одинаково для всех компонент. Это физическое условие, обеспечивающее целостность движения. Но для описания динамики недостаточно одного лишь «метрического» времени. Есть еще два уровня времени, которые можно было бы назвать «внутренним» и «внешним» временем.

В самом деле, даже целиком оставаясь в пределах зоны равновесия (где применимость вариационного анализа не вызывает сомнений), мы можем обнаружить, что традиционное выражение для релятивистского действия

$$S = -mc \int_a^b ds$$

не всегда применимо к многообразиям переменной размерности, поскольку «плотность» траекторий может меняться в зависимости от текущей физической размерности (ср. логику построения функционала действия в ОТО). Поскольку же начальная и конечная точка траектории могут лежать в пространствах разной размерности, здесь нет «естественного» упорядочения. Как и во многих других случаях, мы не можем говорить об интервале вообще — но только лишь о приращениях интервала, о локальных отклонениях. К тому же множитель mc перед интегралом в условиях переменной размерности выглядит уж очень неубедительно: скорость света играет здесь отнюдь не ведущую роль, это лишь одна из «структурных» констант; с другой стороны, массу покоя как глобальную (топологическую) характеристику движения придется заменить чем-то более гибким, что сводится к постоянной массе в областях, где размерность движения не меняется. Тем не менее, поскольку мы рассматриваем связанные многообразия, существуют физические траектории между любыми его областями, глобально. Поэтому действие все еще возможно записать в (несколько измененном) интегральном виде:

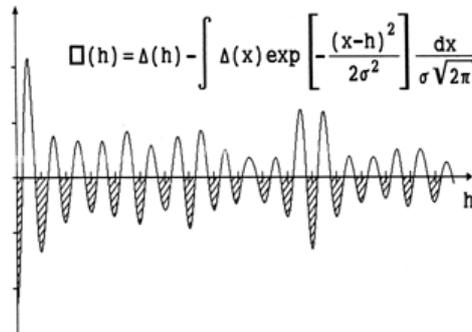
$$S = - \int_a^b \frac{Ds}{D\tau} \rho(\tau) d\tau$$

Прежде всего, это предполагает, что переменная интегрирования может играть роль времени, перечисляя физически значимые промежуточные этапы при переходе от a к b ; при этом $\rho(\tau)$ характеризует внутреннюю организацию активной области, которая не может быть устранена ни в какой системе отсчета — и только асимптотически, в пределе постоянной размерности вырождается в константу (и тогда дополнительные уровни времени просто не нужны). Поскольку структура подынтегрального выражения связана с общей картиной взаимодействия частиц и полей, переменная интегрирования τ представляет время на более высоком уровне, где на физическую систему накладываются связи со стороны аппаратного комплекса; поэтому оно и называется внешним временем. Каждое его мгновение предполагает равновесное состояние, к которому система приходит после диссипации (или усреднения) влияния любых пробных тел. Связанные с ними переходные процессы свернуты в каждой точке физического (метрического)

уровня — но когда мы говорим о вариациях, о малых возмущениях и т. п., мы неявно ссылаемся на это, внутренне время.

Различие между этими тремя уровнями относительно: сдвигая фокус внимания по этой иерархической структуре вверх или вниз, мы можем вытащить в физическую область внутреннее или внешнее время, а прежние наблюдаемые (параметры системы отсчета) уступят место другим способам описания. В качестве фантастического предположения, можно задуматься об относительности различия взаимодействий нынешней стандартной модели — а также о возможности ее частичного воспроизведения на другом уровне, в совершенно ином контексте.

В качестве иллюстрации на полях, обратимся к уровням звуковысотности в музыке.¹⁰ Каждая исторически возможная звуковысотная система может быть представлена набором зон, подобно показанным на этом графике для обычного 12-ступенного звукоряда:



Заштрихованные области отвечают реально воспринимаемым музыкальным тонам, а возможные (в пределах зоны) отклонения от «точной» высоты принадлежат уровню внутреннего времени. Внешнее время соотносится здесь с реальными интонациями (последовательностями нот или гармониями).

Соотношением внутреннего и внешнего времени определяется наблюдаемый спектр масс. В самом деле, возьмите простую двухуровневую механическую систему, в которой движение на верхнем уровне происходит сравнительно гладко, а на нижнем уровне имеются очень быстрые осцилляции. Физически, внутреннее движение будет представлено в выражении для интервала (недалеко от точки равновесия) дополнительным членом, пропорциональным квадрату частоты, как вклад внутренней энергии, и в конечном итоге как дополнительная масса. Отсюда еще одно направление развития метрической модели размерности: изменения размерности многообразия связаны в перестройке его иерархической структуры (обращением иерархии). Тогда появление дополнительных вкладов в интервал в зоне перестройки принципиально не отличается от эйнштейновской идеи: движение материи порождает геометрию, а геометрия влияет на движение материи. Учет переменной размерности можно тогда рассматривать в качестве альтернативы (или дополнения) общей теории относительности. Пока практически все экспериментальные подтверждения не выходят за рамки пост-ньютоновского приближения, наблюдаемые эффекты (вроде поворота орбиты Меркурия) с тем же успехом можно было бы интерпретировать в духе переменной размерности физического многообразия. Попытки слегка подправить кулоновские силы и ньютоновскую гравитацию путем изменения показателя степени лежат в том русле — но это чисто феноменологический подход, который не может привести к сколько-нибудь последовательной теории. Техника метрической размерности может быть полезна для устранения ряда концептуальных трудностей — например в теории сверхмассивных центров притяжения («черных дыр»), — а также в связи с поиском способов преодоления релятивистских ограничений на скорости распространения взаимодействий. В частности, здесь потребуются модели с явным учетом иерархичности времени. В простейшем случае это приведет к выражениям для интервала с несколькими временными вкладками — и разными «константами связи». В конечном итоге, иерархичность станет своего рода обобщением понятия размерности

¹⁰ Л. В. Авдеев и П. Б. Иванов, *Математическая модель восприятия звукорядов*. — Дубна, Препринт ОИЯИ Р5-90-4 (1990).

на случае произвольных физических многообразий: в каждой точке разворачивается некая физическая иерархия — а переход от точки к точке сопровождается обращением иерархии.

И в завершение хотелось бы еще раз отметить главную особенность размерной динамики: вместо исследования динамически возникающих структур в пространстве фиксированной размерности мы переходим к рассмотрению динамически возникающей размерности, выражающей строение физической системы вблизи некоторой локальной точки равновесия — в конечном итоге это связано с контекстом человеческой деятельности. Время и пространство больше не могут играть роль априорных предпосылок всякой рефлексии: в определенных условиях возможны иные способы разворачивания иерархии физических взаимодействий, и это неизбежно приведет к появлению тех же парадигм в других науках.

Относительность иллюзий

Одно дело — заниматься наукой, и совсем другое — интересоваться ею для себя, в качестве ни к чему не обязывающего развлечения. В науке мы не конструируем каждый раз орудия умственного труда — мы просто используем готовые формы и методы исследования. Конечно, одни инструменты кому-то удобнее других, — но это ничего не меняет по сути ремесла. Потом, когда научный продукт устоится, многочисленные популяризаторы объяснят, к чему все это, и какая нам всем от этого польза. Философы обоснуют необходимость именно такой науки, заштопают прорехи фундаментальных предположений. Парадоксальность и противоречивость припишут слабости обывательской интуиции, а истинная интуиция станет источником более утонченных забав — поверх которых раскручивается новый виток абстракции.

Специальная теория относительности вызвала поток популярных толкований. Физику-профессионалу тут вообще нечего объяснять, поскольку в науке понятийная основа должна быть зафиксирована до всякого обсуждения, и только тогда научное исследование становится осмысленным. Чтобы как-то успокоить остальное человечество, формальные манипуляции подкрепляют ссылками на так называемый принцип относительности, согласно которому общая картина динамики физической системы будет одинакова во всех инерциальных системах отсчета, которые могут двигаться равномерно и прямолинейно относительно друг друга. Только, вот, к сожалению, большинство и не догадывается, что это объяснение имеет в виду лишь инвариантность определенных математических конструкций по отношению к некоторому классу преобразований координат. Столь абстрактная относительность не впечатляет человека с улицы, которому подавай осязаемый факт, а не возвышенное теоретизирование — сколь угодно правильное и прекрасное. Теории приходят и уходят — а наши дела текут своим чередом. Отсюда другая сторона и дополнение принципа относительности: столь же знаменитый принцип соответствия требует, чтобы все физические теории, имеющие дело с тем же кругом физических явлений, приводили к согласующимся друг с другом формальным моделям.

Недопонимание — питательная среда для иллюзий. Какие именно факты следует сохранить при переходе от одной системы отсчета к другой? Что физично, а что нет?

Возьмем наипростейшую физическую модель — свободное механическое движение. Давайте не будем спешить и подумаем. Сопоставление количественных оценок для длин и промежутков времени — это весьма нетривиальная деятельность, требующая многочисленных соглашений относительно используемых процедур. Это наводит на мысль о существовании более фундаментальной, качественной основы для количественного сравнения. Когда два наблюдателя обнаруживают совершенно разные формы — что толку обсуждать относительные размеры деталей? Если одни наблюдатель регистрирует событие, а другой нет, — как могут они сравнить наблюдаемое время и место? Придется допустить, что различные наблюдатели способны относить свои наблюдения к одному и тому же физическому объекту, вполне отдавая себе отчет в этой общности.

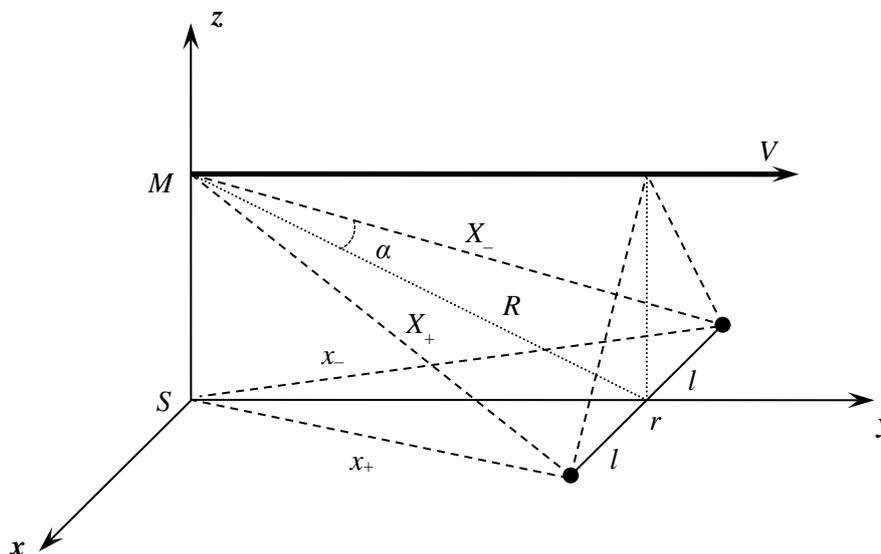
В качестве следующего шага, мы можем выбрать какой-либо общий объект и сравнить наши представления о его движении в каком-то общем для всех отношении. Последнее условие

может быть существенным. В самом деле, куда проще сравнивать две траектории, чем, например, классическую траекторию и квантовый ансамбль, или статистическое распределение. Пространственное положение и форму верхней поверхности столба жидкости в трубке термометра вполне возможно трактовать сугубо кинематически, отслеживая его эволюцию во времени; однако это никак не связано с измерением температур.

Если на то пошло, ограничиться тем же кругом физических явлений — это еще не все. Когда одна и та же вещь изучается с точки зрения разных наблюдателей, требуется, чтобы методы измерения в различных системах отсчета были сопоставимы, и результаты могли быть представлены сопоставимым образом. Приведение данных к таким стандартным формам — особая деятельность, и всегда могут возникнуть вопросы относительно уместности тех или иных преобразований. В тривиальной механической модели надо потребовать, чтобы строение каждой системы отсчета оставалось одинаковым. Три пространственные координаты и время должны составлять полный набор наблюдаемых для каждого наблюдателя. Топология системы отсчета также предполагается фиксированной и заранее известной.

Даже при соблюдении всех этих предосторожностей, мы все еще не можем гарантировать, что наблюдаемые картины движения окажутся в общих чертах сходными. Пока каждый наблюдатель принадлежит своей системе отсчета, нет никакой возможности отличить состояние покоя от инерциального движения; поэтому внутренние шкалы одной системы отсчета не обязаны совпадать со шкалами другой. В каких-то случаях это может выглядеть как присутствие эффективных сил, способных интерферировать с обычными физическими взаимодействиями — и в результате размывается само понятие инерциальности системы отсчета.

Со школьной скамьи мы приучены полагать, что тело, движущееся равномерно и прямолинейно в одной инерциальной системе отсчета будет двигаться столь же равномерно и прямолинейно в другой, если относительная скорость систем отсчета постоянна. Но посмотрим на картинку:



Пусть имеется покоящийся наблюдатель S и в его системе отсчета нечто вроде твердого стержня лежит в плоскости XU параллельно оси X , с центром на оси Y на расстоянии r от начала координат. Пусть теперь другой наблюдатель M движется относительно S вдоль оси Y с постоянной скоростью V . Традиционно предполагают, что M будет видеть, как тот же стержень смещается параллельно самому себе по направлению к оси X , в полном согласии с принципом относительности. Длина стержня остается постоянной, а его концы по видимости прочерчивают (параллельные) прямые линии в системе отсчета M , как и должно быть при свободном движении материальной точки.

Все это так и было бы, если бы наблюдатель M осознавал, что стержень лежит в системе отсчета S , а видимое смещение стержня связано с относительным движением систем отсчета. Однако у M нет ни малейшего повода как-то соотносить поведение стержня с наблюдателем S и думать про какие-либо системы отсчета кроме собственной системы M . На месте M , всякий мог бы наблюдать совершенно иное поведение: некоторая удаленная точка постепенно расширяется в протяженный отрезок — и потом схлопывается обратно в точку. Наблюдатель S понимает, что максимальный размер стержня в глазах M соответствует прохождению того через точку прямо над центром стержня. Но почему чье-то личное мнение должно заботить M ? Для него сам наблюдатель S как будто испущен из той же первородной точки (большой взрыв!) и в конечном итоге теряется где-то в минус бесконечности. Не напоминает ли это картину пространственно расширяющейся (и потом сжимающейся) Вселенной, где положение наблюдателя S играет роль времени? Или энтропии, если хотите. Для еще большего сходства представьте, что наблюдатель M не может видеть ничего кроме расширяющегося и сжимающегося стержня (плюс, возможно, какие-то периодические сигналы от S в качестве показаний часов). Если ограничиться крошечным участком истории, когда все зависимости линеаризованы, — хорошо знакомая космологическая картина восстанавливается один к одному.

Попутно заметим, что сам факт расширения и сужения стержня предполагает какие-то ускорения — и следовательно, действующие в системе отсчета M силы. Что это? Кажимость — или истинно физические взаимодействия? У наблюдателя M нет эмпирических данных для определенного суждения.

Физик мог бы указать, что рассчитанные траектории и характер движения подсказывают правильный ответ, свидетельствуют о наличии двух систем отсчета, движущихся относительно друг друга. Форма наблюдаемых зависимостей требует конкретной интерпретации. Так мы восстанавливаем глобальные перемещения космических объектов по наблюдаемому с Земли движению небесных тел.

Насколько убедительно такое возражение? Физика достаточно. А простые люди никак не возьмут в толк, почему используется именно эта технология обработки данных, а не иная, — и почему вообще мы должны отречься от увиденного собственными глазами (приборами) в пользу некоего глобального видения? Не противоречит ли это духу принципа относительности? Некоторым образом, Эйнштейн следовал именно такой линии суждения при переходе к общей теории относительности. С другой стороны, чтобы сколько-нибудь представительным образом определить характер зависимости, придется опираться на данные, полученные из очень разных источников, — а для локального наблюдателя (живущего одно мгновение по сравнению с характерными космологическими временами) это целая эпопея. Даже в тривиальном случае, когда надо соотнести деления линейки с показаниями часов.

Численные расчеты могут порождать сомнения. Возможны самые разные интерпретации, и малейший сдвиг перспективы приводит иногда к радикально иной форме движения.

Действительно, вспомним о ходячей иллюстрации принципа относительности: поезд идет мимо неподвижной платформы. Если пассажир поезда роняет яблоко — для него оно падает по прямой линии. Стоящий на перроне наблюдатель вместо этого увидит кривую (нечто вроде параболы). Если же еще и привнести вращение системы отсчета — кривая превращается в спираль. Одинаковы эти формы или различны? Как сказать. Так, в топологии отождествляют все формы, которые можно перевести друг в друга непрерывным преобразованием, — но если сильно занесет на повороте, можно и жизни лишиться...

Иначе говоря, обоснованность всяких вычислений существенно зависит от контекста. Чтобы сравнивать две системы отсчета, нам потребуется некое общее основание, система отсчета более высокого уровня. Сравнить такие глобальные системы отсчета придется посредством других, еще глобальнее. Общее представление о наблюдаемом мире меняется при переходе от одного способа развертывания этой иерархии к другому. Качество объектов каждого уровня (вместе с отвечающим ему диапазоном количественных оценок) определимо лишь в отношении к целостной иерархической структуре. Правильно угадаем — получится физический закон.

Подумаем не туда — заблудимся в иллюзиях. Но физика не может внутри себя судить о правильности или заблуждении: чтобы заниматься наукой нам требуется нечто помимо науки. Знание о том, как что движется, может быть важно для очень широкого класса деятельностей; однако есть и другие ситуации, когда нам важнее не понять, а почувствовать. Поверхностным впечатлениям недостает глубины; переоценка возможностей науки — от незрелой мудрости. Какими бы привлекательными ни казались наши всеобъемлющие теории, они могут быть столь же иллюзорны, как и наивные замечания случайного прохожего. Навязывание привычных способов деятельности безотносительно к внутренней природе вещей ничем не лучше досужих фантазий. Всеобщее согласие — это еще не всеобщий принцип. Чтобы удерживаться в рамках разумности, давайте помнить, что наша картина мира (прежде всего физического) лишь относительно приемлема, а все эти системы отсчета и иллюзии, с одной стороны, отражают текущий уровень нашего развития, а с другой — напоминают о подвижности любого горизонта, ибо всякая относительность относительна. Включая эту.

Иерархические наблюдения

Отстаивать свое понимание дела — значит, чего-то не понимать.

Пока я просто действую по своему разумению — с чего бы мне задумываться о чьей-то неправоте? А стоит ввязаться в спор — придется отчасти принять точку зрения оппонента: иначе нам просто не о чем было бы разговаривать. Конечно, попробовать, как оно в чужой шкуре, — это занимательно и полезно. Неправильности — когда игру принимают всерьез.

Для неокрепшего духа опаснее всего — впадающие в мистику бывшие профессионалы, которые зачем-то решили принести свой профессионализм в жертву дурно пахнущей философии. Но философствование без основательного ознакомления с миром вне науки — столь же порочно, как и попытки вывести физику из сугубо философских оснований. Иногда представителям этих областей удается плодотворно сотрудничать — но это не повод для официального бракосочетания.

Научные теории (если они хоть что-нибудь на самом деле описывают) не противостоят друг другу: они, скорее, дополняют друг друга, относятся к разным сторонам одной и той же действительности. Какие-то придумки работают здесь — другие пригодятся в другом месте. Почему им нельзя вместе добывать крупницы истины? Ибо истина многогранна, и никто не бывает прав сразу во всех отношениях.

Основания науки — вне науки. Ученому нет нужды обосновывать выбор конкретной модели. От него ждут осмысленных подсказок: куда смотреть, и как побольше увидеть. Как только методология устаканивается, можно с чистой совестью спихнуть ее инженерам и прикладникам, — и себе найти задачку другого рода, со своими подходами. Фундаментальные теории не делают забавы ради: они обычно вырастают из потребности хоть как-то подступиться к тому, что не вписывается в круг знакомых понятий, требует абстракций иного плана. Технологические приемы скоренько занимают предназначенные им места — и пусть потом философы приучают широкую публику к основоположениям новой науки.

Есть, правда, одно маленькое осложнение... В каких-то отношениях ученые тоже публика, и они в душе мечтают, чтобы кто-то попрыгал вокруг на задних лапках. Поскольку же приходится еще и преподавать, полезно иметь в запасе пару-тройку мозговых зацепок, чтобы студент поскорее выпал из первичного ступора и занялся собственно вычислениями, не особо задумываясь над происхождением правил. Философствование — процесс обстоятельный и неспешный, а нам надо оперативно откликаться на производственные запросы. Так что давайте примем первое подвернувшееся объяснение — и волевым усилием зарежем альтернативы. Собственно, так и попала квантовая физика в плен копенгагенской интерпретации — откровенно абсурдной и маловразумительной. Что есть, то есть; зато теперь спокойно занимаемся наукой, и наши «как» не зависят от наших «почему».

Природа в науке утверждает себя через всевозможные инварианты. В каком-то смысле, фундаментальная теория — инвариант многочисленных философий, и никакие дополнительные соображения по поводу оснований науки не принимаются без свидетельств почтения в адрес уже устоявшихся стандартов. Тем меньше поводов для философских баталий — если, конечно, не задаваться целью (косвенно) поддержать какие-то политические силы в чем-то далеком от учености.

Как и многие другие, Эйнштейн не жаловал философскую стряпню Бора и К°. Однако у него хватило мудрости не воевать с Бором на его поле, в квантовой теории. Эйнштейн всего лишь заметил, что в ее нынешнем виде квантовая кулинария должна пахнуть то ли нелокальностью, то ли неполнотой (привет Геделю!)... Попробуй кто чуть дальше продвинуться в этом направлении — и пришлось бы идти на уступки. А Эйнштейн не хотел компромиссов.

Спустя несколько десятилетий Хью Эверетт (номер три) решился-таки поискать основания квантовой механики с другого краю — и пришлось поставить крест на возможностях карьерного роста (хотя, похоже, он никогда и не стремился к академическим высотам). Ну и что? Выступая против Бора, Эверетт на деле принял ту же самую позицию, и кажущиеся различия свелись к терминологии. Так, оба представляли себе измерение как особого рода взаимодействие между квантовой системой и классическим наблюдателем; однако у Бора наблюдатель превращается в мистическую силу, заставляющую квантовые суперпозиции «коллапсировать» в одно из наблюдаемых состояний, — тогда как Эверетт претендует на целостное видение, объявляя наблюдателя и объект частями единого мира, — который, правда, вынужден расщепляться на несколько клонов при любом измерении, так что клонированные наблюдатели видят каждый свое, и мы приходим к не менее мистической картине облака никак не связанных меж собой миров. Позже приверженцы многомировой интерпретации приспособили для всего этого термин «декогеренция» — по сути, ничем не отличающийся от боровского «коллапса»... Были и другие правдоискатели — но все без исключения начинали с принципиального различия квантового и классического уровней, и этим пропитаны классические учебники. Например, в третьем томе Ландау-Лифшица читаем:

[...] для системы из одних только квантовых объектов вообще нельзя было бы построить никакой логически замкнутой механики. [...] Это свойство измерений логически связано с тем, что динамические характеристики электрона появляются лишь в результате самого измерения [...]

И это при том, что в науке мы только тем и занимаемся, что строим теории квантовых объектов, и логики нам не занимать! А послушать больших ученых — так мы сами себе не дадим спрашивать, чем квантовое отличается от классического. Разумеется, для приличия прилагаются какие-то спекуляции по поводу «принципа соответствия», — но из них следует лишь возможность представлять себе классическое поведение как предельный случай квантовой динамики, — а возможность сопоставить эти два уровня в рамках одного измерения остается не очень одетой метафорой.

Кстати, а почему, собственно, мы обязаны трактовать принцип соответствия как дорогу в один конец? Хорошо, пусть квантовые системы способны достичь классического предела (чтобы порадовать г-на Эверетта). Но классическим системам тоже не возбраняется при каких-то обстоятельствах обнаруживать почти квантовое поведение (как хотелось Эйнштейну). Своего рода подтверждением этому могла бы служить индустрия квантовых вычислений. Точно так же, отношения между ньютоновой и релятивистской механикой вовсе не сводятся к пределу низких скоростей (или энергий).

Возвращаясь к спору Эверетта с Бором, есть смысл поудивляться самой возможности всяческих «коллапсов» и «декогеренции» в линейной (на первый взгляд) теории. Мы прекрасно знаем, что любые ветвления возникают только в присутствии существенной нелинейности или сингулярности. И пока мы руками не впишем нелинейность в уравнения движения, начальные или граничные условия, или хотя бы как внешнюю связь, никаких турбулентностей ожидать не приходится. Но метод пристального взгляда позволяет вскрыть машинерию трюка: само

различение подсистем внутри целого ведет к существенной модификации теории. Это весьма общее утверждение — но для наших целей достаточно простой квантовомеханической иллюстрации.

Система W с гамильтонианом H эволюционирует в соответствии с обычным уравнением движения:

$$\left(H - i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \right) |W\rangle = 0,$$

где полный вектор состояния — нечто целостное, включающее в себя вообще все. Совокупность таких векторов образует конфигурационное пространство нашей всеобъемлющей системы. Пока все линейно и гладко — если гамильтониан без странностей. Пусть теперь система W содержит подсистему P ; все остальное тогда будем трактовать как ее дополнение Q . Формально это можно выразить путем разложения полного конфигурационного пространства в прямое (декартово) произведение подпространств, относящихся к подсистемам P и Q соответственно:

$$|W\rangle \rightarrow \begin{pmatrix} P \\ Q \end{pmatrix} = (P + Q)|W\rangle,$$

где проецирующие операторы (проекторы) P и Q определены соотношениями

$$P|W\rangle = \begin{pmatrix} P \\ 0 \end{pmatrix}, \quad Q|W\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ Q \end{pmatrix}$$

Но всякая проекция есть существенно сингулярная операция (вспомним хотя бы про знаменитую функцию Хэвисайда). Наша теория могла бы еще претендовать на линейность, если бы подсистемы вообще никак не были связаны. К сожалению, это далеко не всегда так; более того, чаще всего это как раз не то, чего мы добиваемся! А для взаимодействующих подсистем полный гамильтониан превращается в блочную матрицу:

$$\begin{pmatrix} H_P & V_{PQ} \\ V_{QP} & H_Q \end{pmatrix} = PHP + QHQ + PHQ + QHP$$

Таким образом, исходный регулярный гамильтониан оказывается представлен в виде суммы существенно нелинейных вкладов — и теперь можно ожидать каких угодно чудес! То есть, достаточно расщепить мир W на наблюдателя P и квантовую систему Q , чтобы обеспечить весь букет динамических особенностей: от хитрой топологии до бурного ветвления. Если в другой раз мы вздумаем развернуть Вселенную как-то иначе — получится новая картина все того же, единого и единственного мира. И не придется ничего коллапсировать или клонировать: все возможности уже налицо, как взаимосвязанные проявления целого.

Исходная синкретичная Вселенная теперь развернута в иерархическую систему: на верхнем уровне она остается единым целым, на нижнем — предстает переплетением взаимодействующих подсистем. Пусть теперь объект наблюдения (классическая или квантовая подсистема Q) в свою очередь распадается на иерархию подобъектов, каждый из которых вполне может зависеть от динамики верхнего уровня, вплоть до динамических свойств наблюдателя. Тогда тривиальная древовидная структура окажется скручена в какую-нибудь топологическую замысловатость, и вклады глубоколежащих уровней уже нельзя будет считать лишь малыми поправками. Чтобы выкрутиться в нечто обозримое, современная физика выстроила мощную технологию регуляризации.

Еще раз: совершенно неважно, на каком языке мы предпочитаем говорить о нашей двухуровневой схеме. Итог все тот же. В реальной жизни количество выделяемых компонент намного больше, а последовательности подпространств («векторы») могут быть дискретными, непрерывными, или даже чем-нибудь покруче континуума. С той же фундаментальной теорией (или, скорее, парадигмой) можно таким образом примирить практически все что угодно. Если человеку чего-то очень хочется — он найдет способ это добыть.

На всякий случай напомним на возможные поводы для обстоятельных раздумий. Вот, к примеру, совершенно вырожденный предел $H_P = 0$. Не напоминает ли это классического наблюдателя, способного изучать поведение квантовой системы, не испытывая с ее стороны ни малейших возмущений? Размерность конфигурационного пространства такого наблюдателя фиксирует некоторый набор измеряемых параметров, а взаимодействие с объектом порождает какое-то наблюдаемое распределение. Поскольку в наблюдаемой картине сводятся воедино наши представления об устройстве природы, такого наблюдателя можно было бы назвать пространственноподобным. Еще один наглядный пример связан с пределом $H_P \sim \hbar\omega \neq 0$, что (согласно уравнениям движения) превращает наблюдателя в своего рода часы, структурирующие объективную реальность при характерных масштабах, определяемых периодом ω («скорость хода» часов). Наконец, дважды вырожденный гамильтониан ($H_P = 0$ и $H_Q = 0$) может быть хорошей моделью чисто классического измерения.

При таком раскладе путаные дебаты Бор-Эверетт коллапсируют в полное ничто. Замешать нелинейность в схему измерения можно многочисленнейшими способами — и каждый из них вполне пригоден для каких-то уголков жизни. Разумеется, если не забывать, что любые различия возможны лишь в рамках целого, а существование любой иерархической структуры предполагает развертывание многих других, по мере созревания практической необходимости. Ни одно из этих «однобоких» представлений не исчерпывает разнообразия мира, в котором всегда найдется место для других наблюдателей, с их собственными многоуровневостями. Поскольку различие объекта и наблюдателя оказывается относительным (и можно сказать, что объект по-своему наблюдает наблюдателя), ничто не мешает нам мыслить мир сам по себе — иерархию, не нуждающуюся ни в каких наблюдателях; на этом объективном фундаменте мы строим грандиозное здание нашей культуры. А значит, сколько бы мы ни открывали природных чудес — в будущем нас ждет намного больше открытий. Глупо предполагать, что мир всегда согласится подстраиваться под наши прихоти.

Маленький и совсем частный пример. Из книжки в книжку кочует традиционный предрассудок: измерение указывает на одно из возможных состояний квантовой системы. Ничего подобного! Все, что позволяет предполагать логика, — это возможность возникновения после всех положенных процедур одного из допустимых состояний наблюдателя (скажем, положение стрелки на циферблате, или набор линий спектра с их интенсивностями). В терминах нашей квантово-проекторной схемы, речь идет о собственных состояниях гамильтониана H_P . Про состояние квантовой системы после измерения (которое у нас представляется собственным вектором остаточного гамильтониана H_Q — и, возможно, каких-то еще самосопряженных операторов) мы вообще ничего не должны умозаключать. Более того, если бы какой-то классически наблюдаемый эффект реально требовал приведения микроскопического объекта в определенное квантовое состояние (предположение очень сильное), объект уж точно покинул бы это состояние в ходе измерения. То есть, все, что мы измеряем, говорит не о текущем положении вещей, а относится, скорее, к тому, как мы собираемся практически использовать последствия нашего взаимодействия с объектом.

В популярной литературе часто встречаются картинки типа

$$(\sigma_+ + \sigma_-)\varphi \rightarrow \psi_+ + \psi_- = \sigma_+\varphi_+ + \sigma_-\varphi_- ,$$

долженствующие показать, что, когда (допустим) электрон с состоянием квантовой суперпозиции натывается на наблюдателя в некоем «состоянии готовности» φ , на выходе образуется суперпозиция (в данном случае) двух возможных результатов эксперимента, каждый из которых предполагает «правильное» отражение природы и точно соответствует реальной ситуации. Потом сюда навешивают «коллапс» в одну из возможностей, или параллельное движение изолированных миров (после обряда «декогеренции»)… Однако логичнее было бы рисовать конечное состояние как $\sigma(\varphi_+ + \varphi_-)$ — то есть, как прямое произведение квантовой суперпозиции состояний наблюдателя (очевидным образом отождествимой с экспериментально наблюдаемым спектром) и некоторого неопределенного состояния квантовой системы (которая потом может

встретить на пути еще одного наблюдателя, и повернуться к нему совсем другим боком ¹¹). Тогда модные разговоры о «запутывании» (чего с кем?) оказываются, самое безобидное, неумной рекламой. Никакими ухищрениями невозможно перевести квантовую систему после измерения (или еще какого-то творческого акта) в известное классическому наблюдателю состояние. Хуже того, всякое взаимодействие квантовой системы с классической заведомо разрушает чистые состояния (квантовые суперпозиции) и приводит к образованию смешанных состояний (типа того, что мы описываем квантовой матрицей плотности). Известно, что «приготовление» системы — необходимая часть всякого квантового измерения. Мы стараемся минимизировать вклад не интересующих нас в данный момент взаимодействий — и выстраиваем конфигурационное пространство объекта соответствующим образом. Чтобы организовать повторное наблюдение того же типа, требуется материально-физическими мерами вернуть систему в исходное состояние, заново «приготовить» ее.

Говоря о структуре конфигурационного пространства объекта, мы уже подразумеваем иерархию, развернутую гораздо глубже первичного отделения наблюдателя от объекта. То есть, чтобы построить осмысленную физическую теорию, требуется исследовать строение объекта, разными способами представляя его наборами взаимодействующих подсистем — предполагая, что лишь некоторые из них взаимодействуют с наблюдателем при каждой конкретной постановке эксперимента. Какие-то компоненты будут вести себя классически; для других полезнее квантовое описание. В любом случае, количество задействованных проекций может быть колоссальным; всякая линейная теория оказывается, в лучшем случае, лишь практически приемлемым приближением.

Это опять возвращает нас к философским разногласиям. Недофилософы с физическим образованием любят взывать к «реальности» для подкрепления своих спекулятивных конструкций. Но философствующий Эверетт не заметил, что его возражения Бору на новом этапе воскрешают споры средневековых «реалистов» со столь же средневековыми «номиналистами». И те, и другие неправы: во-первых, человеческая деятельность в целом никак не сводится к познанию, а во-вторых, никакое познание не может быть абсолютно точным и всеобъемлющим, идентичным познаваемому. Как угодно представляя целостный мир расщеплением $P + Q = 1$, мы можем что-то уверенно сказать только про вклад наблюдателя P , а точное знание внутренней организации объекта нам недоступно. Чтобы всесторонне исследовать предмет, мы пробуем разные подходы, дополняем одни измерения другими: ¹²

$$P = \sum |k\rangle\langle k| = \sum |q\rangle\langle q| = \sum |\xi\rangle\langle \xi| = \dots$$

Каждый конкретный выбор оставляет что-то (а на самом деле, почти все) за пределами нашей науки. Как тогда расценивать слова Эверетта о том, что реальна лишь полная волновая функция мира в целом? Даже без придилок по поводу крайней узости видения мира исключительно с позиций возможных расщеплений *наблюдатель + объект*, можно сразу заметить, что волновая функция — это отнюдь не физическая реальность: это лишь принятое наблюдателем удобное сокращение для одного из возможных отношений к миру. То, как мы себе представляем мир, а не то, каков он сам по себе. Одно и то же обнаруживает себя очень разными способами, и разные его стороны требуют особого описания — вовсе не обязательно в рамках квантовой парадигмы. Другими словами, наше знание о физических системах всегда будет заведомо неполным — не говоря уже о знании мира в целом. В физике (или какой-то другой науке) мы интересуемся ничтожно малой частью физически возможного — тем, что сейчас важнее на практике. В контексте другой деятельности потребуются иная физика для того же самого — столь же неполная, и столь же эффективная, благодаря этой самой неполноте.

¹¹ Вообще говоря, для описания поведения системы после измерения, может потребоваться иное конфигурационное пространство, и другие гамильтонианы. По большому счету, это относится ко любому взаимодействию; например, в физике мы используем разные полные множества проекторов для моделирования виртуальных каскадов.

¹² Это эквивалентно развертыванию наблюдателя в иерархическую структуру.

Так мы отвечаем на одно из эйнштейновских возражений. Квантовая механика, конечно же, неполна. Как и любая другая физическая теория — включая специальную и общую теорию относительности. Иллюзия полноты в классической физике возникает из-за пространственной трактовки наблюдателя, понимаемого как всеобщая и неизменная основа для развертывания динамики физических систем (система отсчета). Поскольку же движение классических систем обнаруживает структурную инвариантность, соответствие между динамическими переменными объекта и наблюдаемыми величинами сводится, большей частью, к простому преобразованию одного в другое. Квантовые объекты, напротив, скрывают внутреннее движение от наблюдателя, и потому никакая квантовая теория не может быть полной в классическом понимании.

Существуют ли макроскопические системы, которые нельзя удовлетворительно описать в рамках классической парадигмы? Сколько угодно. Всякая классическая система может вести себя аналогично квантовой при наличии взаимодействий, которые мы не можем явно выписать или контролировать. В нелинейной динамике это называется переходом к хаосу. В любой иерархической системе процессы низших уровней оказывают влияние на динамику верхнего уровня совершенно квантовым образом. Возьмем хотя бы хорошо известное броуновское движение: среднее удаление от источника растет как корень квадратный из (макроскопического) времени. Это означает, что комбинацию нескольких независимых процессов такого рода следует описывать суперпозицией соответствующих (виртуальных) амплитуд, тогда как наблюдаемые интенсивности получатся суммирование квадратов амплитуд, по-борновски.

Тут самое время разобраться с вероятностными формулировками квантовой механики, вокруг которых навечно немало мистики. По факту, никакие вероятности мы никаким образом наблюдать не можем. Статистические методы хороши для обработки результатов эксперимента, однако физика дела к ним совершенно равнодушна. Есть физические события. Когда индивидуальные события различить нельзя (или не нужно) — измерению подлежат какие-то агрегированные показатели (интенсивности). Квантовая механика отличается здесь от классической только способом агрегирования. Когда в системе нет интерференции различных внутренних процессов, сумма интенсивностей дает полную интенсивность. Когда какие-то взаимодействия частично накладываются друг на друга — появляется квантовая интерференция. В этом случае (например) перемещение квантовой частицы следует представлять как своего рода течение — с соответствующим переопределением интенсивностей. В зависимости от порога детектора (еще одна нелинейность!), наблюдатель увидит либо последовательность «случайных» пульсаций — либо полноценный спектр. В конечном итоге вся вообще квантовая физика может быть переписана на свободном от вероятностей языке: это понятие в физике излишне. Обычных физиков, разумеется, устраивает и нынешний жаргон — поскольку они не вкладывают в него никакого субъективизма. Однако политически ангажированные философы так и норовят подменить физические понятия спиритуалистическими идейками — и оправдать общественное неравенство псевдонаучной болтовней.

Именно засилье нефизических терминов позволяет философствующим фокусникам извращать физику как заблагорассудится. Безотносительно к тому, идет речь о классике или о квантах. Так, популярные книжки в обязательном порядке ссылаются на мысленный эксперимент с проекциями спина электрона, выводом из обычной суперпозиции чистых состояний никому не понятное «запутывание». Ладно, давайте поставим такой же трюк в сугубо классическом варианте. Напишем знаки 0 и 1 на двух листочках бумаги и запечатаем их в два непрозрачных конверта, которые потом можно доставить на противоположные концы Земли (или Галактики). Для наблюдателей в конечных точках вероятность обнаружить 0 или 1 после вскрытия конверта равна 1/2. Однако едва один из наблюдателей вытаскивает листок из конверта и видит метку 0 — другой наблюдатель получит результат 1 со стопроцентной вероятностью. Выражаясь языком официальной квантовой философии, волновая функция мгновенно сколлапсировала — не обращая внимания на релятивистские ограничения по скорости передачи сигнала. Не нужно никаких микроскопических частиц и квантованных полей — достаточно бумаги и карандаша.

Логическая ошибка состоит в том, что никаких вероятностей тут никогда и не было: имеется лишь один (глобальный) наблюдатель, способный обнаружить вполне определенное состояние двухконвертной системы самыми разными способами (в частности, путем открывания одного из конвертов — но могут быть и другие, более замысловатые технологии). Если бы тот же наблюдатель мог проконтролировать процесс раскладывания листков по конвертам — никакого измерения вообще не потребовалось бы. Но когда этот этап выпадает из под контроля, и не может быть теоретически просчитан, мы автоматически приходим к неполной теории со скрытыми переменными неизвестной природы. Тем не менее, поскольку на предполагаемые результаты измерения наложена некоторая глобальная связь (наличие всего двух исходов), совершенно все равно, какую именно часть системы мы наблюдаем: все остальное выводится, исходя из детерминистического характера связи. Это объясняет иллюзию нелокальности. На самом деле два конверта никогда не становятся независимыми: они остаются компонентами той же (глобальной) системы, физически привязанной к одной точке (в которой сидит глобальный наблюдатель). Объем системы может неограниченно расти — но она не движется как целое, и нет никакой необходимости рассылать сигналы. Разговоры о двух пространственно разделенных наблюдателях — либо метафорическое описание участвующего в измерении инструментария, либо допущение о дополнительной информации у получателей конвертов: например, знание о характере наложенных связей. В последнем случае мы имеем локальную теорию со скрытыми переменными. А иначе просто невозможно было бы как-то связать один конверт с другим; более того, само существование чего-то помимо локально размещенного оборудования оставалось бы пустой спекуляцией.

Всякая человеческая деятельность предполагает подобные глобальные рамки. Человек действует всегда в контексте определенной культурной среды, что иной раз накладывает очень жесткие ограничения на допустимые шаги. В частности, никакая передача информации невозможна без заранее оговоренных протоколов. И становится понятно, откуда растут ноги у ходячего представления о вероятностях как сумме наших ожиданий. Поскольку протоколы вне физики, данные можно кодировать самыми разными способами и переправлять по каким угодно каналам. А без этих предварительно сложившихся объективных условий нам оставалось бы только следить за протеканием физического процесса, безотносительно к возможностям его осмысления. На квантовом жаргоне мы ссылаемся на такую привязку экспериментальных процедур к контексту, употребляя термины «корреляция», «когерентность», «подготовка системы» и др. Классическая физика предпочитает говорить о дальнем действии, скрытых переменных, термостатах и т. д. Но по сути — одно и то же.

Иерархический подход явно указывает на взаимосвязь глобального наблюдателя и внутреннего устройства наблюдаемой системы (объекта). При всей своей бесконечности, внутреннее пространство для (классического или квантового) наблюдателя всегда содержится в одной-единственной точке. Более того, само понятие (и строение) внутреннего пространства выразимы только в терминах наблюдателя, которому задолго до эксперимента приходится выбирать, на что именно следует обратить внимание, и как представить результаты наблюдения. Отметим, что накладываемые таким образом связи ограничивают внутреннее движение объекта, не относятся к самому наблюдателю. Чтобы обсуждать вовлеченность наблюдателя в движение объекта, на нужен еще один, более высокий уровень иерархии — и еще более глобальный наблюдатель. В нашем фокусе с классической «запутанностью» можно было бы ввести промежуточный уровень пространственно распределенных (классических) наблюдателей, для которых работают обычные релятивистские правила игры («световой барьер» как связь). Поскольку исход эксперимента все равно определен лишь по отношению к глобальному наблюдателю (который физически находится в том же месте, где все это началось), результаты измерений более низкого уровня придется как-то передавать в этот «мозговой центр» для последующего сведения воедино; такое информирование займет достаточно времени, чтобы классические условия локальности оставались соблюдены. А для глобального наблюдателя все происходящее по-прежнему уместится в одно мгновение.

Как уже упоминалось, межуровневые отношения — дело нетривиальное. Между любыми двумя уровнями можно разглядеть еще один, «промежуточный» (опосредующий). Несколько уровней всегда можно объединить в более крупную структуру. Это называется обращением иерархии. В качестве типовых примеров — выбор системы отсчета, или спецификация квантовой системы. Целостность иерархии восстанавливается на более высоком уровне — и это подчиняет переходы от одной иерархической структуры к другой некоторым общим правилам.

До сих пор наши рассуждения относились одинаково и к классическим, и к квантовым системам. Попробуем подступиться к еще одной (может быть, главной) причине квантовой нелокальности — принципу неразличимости частиц. Мы привыкли иметь дело с обыденными эквивалентностями: одно и то же можно сделать разными способами, и нас устроит любой из них. В квантовом мире все выглядит хитрее: выбирая одну из возможностей, мы в обязательном порядке привлекаем и все остальные. Например, в известном опыте Штерна-Герлаха, нельзя сказать, какой именно электрон отклонится вверх или вниз после пролета через магнит: все электроны исходного пучка одинаково представлены и в верхнем, и в нижнем пучке после расщепления. Формально такая взаимозаменяемость вводится в уравнения движения (или векторы состояния) с использованием особых перестановочных операторов. Это делает систему явно нелинейной. Принцип тождественности не зависит от природы (и даже от наличия) физических взаимодействий: обменные члены присутствуют в любом случае, определяя топологию конфигурационного пространства. Точно так же, квантовый обмен не устраняется пространственным разделением; формально это выглядит как дальное действие, нарушение принципа конечности скоростей, — существенная нелокальность. Выглядит очень загадочно — но обойтись без этого мы не можем, особенно в физике высоких энергий.

Тем не менее, сама независимость квантового обмена от физики дела наталкивает на мысль о его искусственном происхождении: относится принцип неразличимости не к объекту, а к строению наблюдателя (включая как приборы, так и способы агрегирования результатов). Но тогда и классические системы можно было бы довести до чего-то подобного! Проиллюстрируем это примером из реальной жизни.

Допустим, мы взялись торговать нефтью. Покупатели подгоняют танкер, мы грузим продукт, а оплачивается все по коносаменту. Нефть поступает на терминалы от нескольких производителей, с разными логистическими задержками. Если бы приходилось грузить танкеры прямо с терминалов, это привело бы к долгим простоям, и чувствительным неустойкам. Поэтому мы решаем забрасывать продукт по мере поступления на некий танкер-накопитель, а когда зальем достаточно — отгружаем все сразу на корабль покупателя. Теперь предположим, что в течение месяца ожидаются несколько покупателей; мы заливаем нефть на накопитель с учетом необходимости всех этих отгрузок, а соответствующие количества заранее прописаны в двусторонних договорах. На квантовом языке это означало бы, что накопитель находится в состоянии суперпозиции, с коэффициентами по контрактным объемам. Когда прибывает танкер одного из покупателей, мы отгружаем указанное количество — и переводим накопитель в другое состояние суперпозиции, ожидая следующей операции.

Настоящая магия начинается, когда мы учтем, что одна тонна нефти ничем не отличается от другой. Поэтому любой отгруженный покупателю объем содержит смесь вкладов, исходно предназначавшихся очень разным покупателям — а остаток на накопителе содержит и вклад уже отправленного конечного продукта! Можно посчитать точные пропорции, и они будут меняться по ходу загрузки/выгрузки. Иногда накопитель оказывается пустым — когда весь запас сливают одному покупателю. Но большей частью поставки разным покупателям сильно перемешаны, что устанавливает своеобразное родство между потребителями половины мира! Учитывая, что каждая поставка нефти от производителей идет по своей цене (что заранее регулируется соответствующими соглашениями), мы вынуждены пересчитывать рыночную стоимость продукта на накопителе, а тонкая игра на таких «квантовых» ценах — основной источник дохода для трейдера (точно так же, как квантовая интерференция приводит в действие миллионы полезных устройств).

Разумеется, торговля нефтью никак не выделяется среди всех прочих деятельностей. С тем же успехом можно было бы говорить о намерении пойти в магазин за хлебом, маслом, сыром и яблоками — и необходимостью иметь в кошельке достаточно денег (с учетом требуемых количеств и обычных по сезону цен). Если по каким-то причинам мы покупаем только хлеб и яблоки (или решаем изменить относительные количества) — все предполагаемые расходы пропорционально перераспределяются. В другой раз, точно так же, мы можем заняться написанием научной (или философской) статьи — и задействовать фрагменты, ранее написанные по другим поводам. Плюс сколько угодно прочих ситуаций.

Вырисовывается общая идея: поправки на неразличимость нам требуются только потому, что о состояниях объекта мы говорим в терминах состояний наблюдателя. А природе все они без разницы. Квантовый электрон знает о наших расчетах не больше, чем нефть о конечном потребителе. Изначально есть нечто по природе нераздельное — это вещь сама по себе, со своими внутренними сложностями, — которую мы просто не умеем представить в наших несовершенных понятиях. Поскольку же мы искусственно противопоставляем одни части объекта другим — восстанавливать целостность приходится введением специальных операторов (анти)симметризации. Если в будущем какой-нибудь гений предложит более продвинутый формализм для теории сильно связанных систем, все эти фиктивные взаимодействия тут же испарятся. Например, вместо того, чтобы рассматривать отдельные электроны (или иные элементарные частицы), можно было бы с самого начала говорить о квантовых токах разного типа (как мы разделяем электронную и ионную плазму в межзвездной среде). Как только индивидуальные электроны выведены за рамки теории — соображения неразличимости и нелокальный обмен оказываются не у дел.

Вспомним, что глобальные особенности динамики и образование структур — следствие нелинейности. На данном этапе мы можем различить два взаимно противоположных типа нелинейности в физической теории: внутренняя (объективная) сложность — и способ (субъективной) интерпретации. Практика работы с физическими системами разворачивается с учетом как природных законов, так и наших привычек или намерений. Новые парадигмы возникают в процессе развития культуры в целом.

Отличается ли все это как-нибудь от популярного ныне философского эмерджентизма? Нелинейная динамика рассматривает возникновение глобального порядка как естественное следствие физических законов. Относящиеся к способу наблюдения структуры, казалось бы, могут быть наложены на физику совершенно произвольно, — подобно тому, как мы выше отделяли наблюдателя от объекта. Ничего сверхъестественного в такой эмерджентности нет — если не предполагать мистического возникновения чего-то из ничего. На имеющихся примерах можно расти как в области физической теории, так и плане самосовершенствования нашей субъективности в целом. Основная особенность иерархического подхода — относительность различий, их отнесенность к одной из иерархических структур, одному из возможных способов разворачивания той же самой иерархии. В любом случае, мы воспринимаем вещи так, как они представляются нам в рамках определенной культуры, и в зависимости от нашего общественного положения. В частности, ограниченность наших теорий — не просто заблуждение: примитивные формы отражают определенные стадии культурного развития, и способ материального производства прежде всего. Когда складываются подходящие условия — неизбежны научные открытия, меняющие наше видение мира.

Тогда что с противостоянием интерпретаций квантовой механики? Вместо хаоса случайно размножающихся миров — один многокрасочный мир. Вместо произвольного коллапса — сосуществование различных реализаций. Вместо навязанных свыше артефактов — следование природе. Относительность квантово-классической дуальности — и ее воспроизводимость на каждом уровне субъект-объектной иерархии. Иерархичность относительности. И, конечно же, универсальная дополнительность точек зрения, подходов и методов, когда все вместе мы понимаем больше и больше, не отвлекаясь на скучные и бесплодные баталии за утверждение единственного понимания — или непонимания.

Иллюзорная физика

Со школьной скамьи (или раньше) все привыкли сопоставлять физические объекты с математическими конструкциями — но было бы наивно полагать, что физический объект и есть такая конструкция. На элементарном уровне добросовестные преподаватели пытаются все-таки донести до студентов условность физических понятий и говорят о характерных масштабах, в пределах которых только и могут существовать измеримые величины: ближе к границе применимости всякая теория теряет смысл, и надо искать иную качественную картину, для которой логичнее другие количества. Переход от общего курса к теоретической физике для большинства оказывается психологическим шоком: суть дела напрочь отменяется — и во главу угла теперь положено ставить «точные» математические методы; соответственно, физическая интуиция подменяется интуицией математической. Считается, что красивый формализм обязательно должен соответствовать чему-то в природе — критерием истины стало эстетическое наслаждение, удовольствие от ловкости рук...

Классический пример — теория относительности. Знаменитое уравнение Эйнштейна выписано из чисто формальных соображений, как наиболее общая инвариантная структура с участием производных метрического тензора не выше второго порядка. Красота настолько заморозила физиков, что попыток обнаружить за этим реальную физику за сотню лет никто, практически, не предпринимал — речь идет только об оправдании формализма, подведении природы под готовую схему. Точно так же, современные варианты большого объединения увлекают универсальностью базовой схемы: подведение наблюдаемых эффектов под общую для всех симметрию, нарушения которой способны порождать сколь угодно разнообразные физические ландшафты. Метод теоретической физики пародирует мышление математика: есть формальная теория — а все остальное лишь ее «модели», замусоренные частностями реализации.

Но с точки зрения науки интерес представляют именно это частности, подробности, отклонения от формальной схемы. Когда экспериментатор самозабвенно избавляется от приборных погрешностей, повышение точности — не самоцель, не попытка приблизиться к якобы самостоятельно сущей математической абстракции, — речь идет о желании нащупать границы применимости наших воззрений, угадать момент, когда пора остановиться и заняться чем-то другим. Это вполне подобно суммированию асимптотических рядов, или итерационному решению уравнений для некорректных задач: нет смысла продолжать, если последующие действия лишь ухудшают результат.

Все без исключения физические теории — справедливы лишь «асимптотически», в предположении удаленности границ. Если физическая величина становится исчезающе малой (или бесконечно большой) — это знак выхода за пределы области применимости: используемая математическая модель больше не отвечает реальному поведению физических систем. Настоящая физическая теория — это иерархия частных моделей, справедливых каждая в своем масштабе, при определенных ограничениях. Никакой изящной формулой описать мир нельзя — это всего лишь метафоры, блеск остроумия. До каких-то пор возможно диктовать природе наши правила, строить практику по готовому шаблону; однако потом все же придется избавляться от стереотипов — и чем крепче въелись они в сознание, тем труднее.

Возможно, самый крепкий предрассудок — обыденные представления о пространстве и времени. Мы знаем, что все происходит где-то и когда-то. Место мы называем точкой пространства; законченное событие помечает момент (мгновение) времени. Потом выясняется, что сцена захватывает много соседних точек — и мы говорим об области пространства, оставляя за собой право выделить внутри отдельные точки. Точно так же, вместо мгновенных событий, приходится иметь дело с протяженными, «размазанными» во времени; однако и здесь мы допускаем, что протяженность состоит из мгновений, которые, хотя бы в принципе, можно засечь. Остается только договориться о стандартах: пометить точки пространства и моменты времени числами — а дальше все следует из математики... Тем более, что для составления областей пространства и длительностей из непротяженных элементов уже есть подходящие

математические конструкции — множества мощности континуум. Поскольку абстракция числа не предполагает никакой физики, пространство и время, вроде бы, существуют сами по себе, независимо от движения каких-то тел или колебания волн: мы «вкладываем» физику в математическое пространство — и речь идет лишь о способе перехода из одной абстрактной точки в другую.

Лоренцу, Пуанкаре, Эйнштейну и прочим отцам-основателям современной физики приписывают якобы революционный разрыв с таким допотопным представлением — и в этом видится физический смысл относительности. Но что на самом деле? Идея реальности математических абстракций ни на йоту не поколеблена: единственное отличие релятивистской механики от Галилея и Ньютона — в переходе от независимого от времени трехмерного пространства к единому пространству-времени, с сигнатурой $(1, 3)$; в него мы вкладываем теперь физические процессы — которые уже и процессами-то назвать сложно: это просто геометрические объекты, траектории и потоки. Шаг вперед — и два шага назад. Даже общеквариантная теория не спасает: материальные поля призваны лишь искривлять все то же идеальное пространство, и эту кривость мы ради формального удобства отождествляем с гравитацией.

Нельзя сказать, чтобы физики не чувствовали концептуальных натяжек. На первых порах пытались объяснить на пальцах широкой публике — и самим себе. Не получилось. Тогда постановили: заметаем мусор под ковер — и больше не заморачиваемся; пусть фундаментальная структура теории будет априорным постулатом. Со стыдливой оговоркой: мы же не сумели найти экспериментальных контрпримеров...

Тут как раз подросли квантовые теоретики — их объяснять публике еще напраснее. Опять же, поначалу казалось, что квантовая физика совсем убивает классические пространственно-временные соображения, и вопрос на повестке дня уже не стоит. И здесь не получилось: единственное отличие от классической физики в том, что пространство и время (или их модную комбинацию) переместили внутрь квантовой системы, и мы теперь не можем это непосредственно измерять, а умеем только домысливать. То есть, еще дальше от физики — в математические дебри. В принципиальном плане — ничего нового; однако чисто технически обывателю сложновато, и приходится верить на слово якобы знающим теоретикам. Научная революция не рассеяла предрассудки, а еще глубже их укоренила, сделала почти религией.

Разумеется, я несколько сгущаю краски. Не все так безнадежно. Практика сделает необходимые поправки — и в итоге все получится. Физикам вовсе незачем понимать почему. Работа у них своя, и на большую философию отвлекаться просто некогда.

В популярной же литературе (для детей) некоторые оговорки сделать уместно. Например, Дэвид Бом в книжке про специальную теорию относительности [М.: Мир, 1967] справедливо указывает, что координаты и время возникают не сами по себе, а в связи с обычными (общепринятыми) процедурами измерения — как эффект взаимодействия физической системы и прибора. Поскольку это не априорные сущности, а результат анализа экспериментальных данных, мысль о нетривиальном соотношении пространственных и временных измерений совершенно естественна, и теория относительности в таком контексте психологических проблем не вызывает. Однако почему бы тогда не сделать следующий шаг? Измерение скоростей — еще более опосредованная процедура, основанная на координатных измерениях; так почему постоянство скорости света не воспринимать как артефакт, следствие типовых измерительных процедур? Если мы на каждом шагу связываем технологии получения координат и показаний часов с распространением света — ее постоянство из физического принципа превращается в банальную тавтологию. А ничего другого, для сравнения, у физиков пока нет. Отсюда, кстати, и размерность пространства-времени: она напрямую связана с количеством параметров, необходимых для описания электромагнетизма.

К сожалению, популяризаторы ограничиваются общими положениями — и быстренько переходят к вычислительной части: манипулировать числами проще, чем искать основания физики. Но тут возникают совершенно анекдотические ситуации. Например, относительность

одновременности и расстояний иллюстрируют мысленными экспериментами, геометрия которых целиком основана на предположении о малости скоростей по сравнению со скоростью света; выведенные из этого результаты предъявляют читателю в качестве убедительных аргументов: дескать не может быть скоростей больше световой — совершенно невозможно! Однако совершенно ясно, что обмен световыми сигналами с объектами, движущимися быстрее света, даст особую картину, которую надо честно анализировать. Заметим, что вывод преобразований Лоренца на основе обычных симметрий и постоянства скорости света тоже в критических местах опирается на досветовую геометрию — и потому совершенно неубедителен.

Однако причины инстинктивного неприятия грубого релятивизма гораздо глубже. Возражения вызывает абстрактность отождествления физического пространства и времени с математическими конструкциями — которые точно так же наполняются любым другим содержанием. Есть физические процессы (и основанные на них человеческие действия). Одни процессы (действия) можно сравнивать с другими. Но считать реальные вещи или события точками можно лишь с различными оговорками, — при определенном выборе шкалы. Если что-то достаточно маленькое движется сравнительно медленно — мы можем отследить траекторию как последовательность мгновенных положений-точек. Но если речь идет о перемещении протяженных тел с большими скоростями — выглядеть это будет совершенно иначе. Координатное представление при скоростях, сравнимых со скоростью пробных сигналов, — затея сомнительная. Тем более, при значительно больших скоростях.

По большому счету, не так уж трудно догадаться, что потребуется изменить. У того же Бома есть замечательная фраза [с. 78]: если бы неподвижный наблюдатель определил положение «хвоста» поезда в один момент, а его «головы» — часом позже, он заявил бы, что длина поезда составляет 100 км или более того, — вывод явно нелепый.

Но в чем, собственно, нелепость? Мы измеряем длину протяженного объекта — и заранее сказать, какие значения физически приемлемы, а какие нет, — никаких оснований. Если часы наблюдателя градуированы в миллионах лет, один час для него — практически ноль, и поезд реально выглядит «размазанным» по сотне километров пути. Для наблюдателя на поезде, в той же временной шкале, длина состава окажется намного меньше — и возникает мысль о сокращении длин для движущихся наблюдателей. Одновременность в таком контексте оказывается весьма относительной — но зависит это не от взаимного движения систем отсчета, а от характерных масштабов явлений. Заметим, что такая относительность гораздо ближе здравому смыслу: когда мы говорим, что поезд находится, например, в Москве, для нас не только протяженность поезда малосущественна (мы берем его как точку, целиком) — но даже Москва понимается как нечто единое и неделимое (хотя в другом масштабе возможно было бы указать, о каком месте Москвы идет речь). В масштабах солнечной системы Землю целиком можно запросто считать точкой; однако для гипотетических наблюдателей с других звезд изменения светимости при прохождении Земли по диску Солнца — обычный способ измерения ее размеров. Точно так же, один день может выступать как мгновение на жизненном пути — а может показаться вечностью в режиме напряженного ожидания.

В примере с бомовским поездом возможны весьма нетривиальные вариации наблюдаемой формы поезда в зависимости от графика перевозок. Понятие длины поезда в этом случае вообще не имеет смысла; в лучшем случае возможно ввести количественную оценку максимального и минимального диаметра наблюдаемой структуры. Фактически мы наблюдаем таким способом топологию некоторого фрагмента системы железнодорожных путей, и другие поезда (пробные тела) позволяют достроить и уточнить картину. В общем случае, придется учитывать характер движения — и строить некую фазовую траекторию, с учетом изменения скорости и остановок. Тогда пространство и время естественным образом переплетаются — и наблюдения позволяют судить не только о наличии дорог, но и о действующем расписании; в пределах его неизменности возникает физика пространственно-временных инвариантов.

С другой стороны, полагая поезд протяженным объектом, что мы принимаем за его границы, за «голову» и «хвост»? Если расстояния измерять в ангстремах — вопрос очень

нетривиальный. В каких-то случаях само понятие границ пространственной (или временной) области приходится пересмотреть, или вообще от него отказаться. Допустим, что для стоящего поезда границы можно задать некими пространственными распределениями; но вовсе не факт, что характер распределения не изменится при достаточно быстром движении, или при переходе к иной шкале.

Таким образом, нелепым оказывается, прежде всего, предположение об абсолютности пространственных точек, об их бесконечной малости — независимо от принятой шкалы. Физическая точка — это сколь угодно сложная система, внутреннее устройство которой для нас в данной конкретной задаче несущественно. Любую «точку» можно развернуть в протяженность, исходя из практических потребностей, требующих учета более детальных структур. Другими словами, геометрия и топология — не абсолютные свойства мира в целом, а характеристика специфики движения, своего рода определение физической системы. Пока мы соблюдаем при работе с системой определенные правила, физика дела для нас инвариант; приближение к границам области применимости может потребовать значительных поправок, или полного пересмотра теории. Например, пресловутое релятивистское сокращение длин и промежутков времени с увеличением скорости в конце концов неизбежно приводит к выходу за пределы принятой пространственно-временной шкалы — слишком маленькие отрезки оказываются нулевыми в пределах погрешности, и нужна иная постановка эксперимента, в которой границы либо оказываются существенно протяженными, либо вообще не существуют как физические понятия. Разумеется, это касается не только координат, но и масс, зарядов, потенциалов, температур, количества частиц и т. д.

Относительными оказываются также первичность и производность физических величин. Например, допустим, что скорость определяется отношением расстояния к промежутку времени; если расстояния и длительности определены с точностью до характерных параметров шкалы, скорости также логично считать лишь условно измеримыми, и постоянство скорости при переходе из одной системы отсчета в другую соблюдается лишь макроскопически, при достаточно больших расстояниях и временах. На небольших расстояниях необходим учет граничных эффектов; при малых временах разброс измеряемых значений скорости может оказаться сколь угодно большим — и мы переходим от фиксированной скорости к распределению скоростей. Но если по каким-то причинам необходимо строго зафиксировать величину скорости — это означает, что либо расстояния, либо времена становятся производными величинами, привязанными к движению чего-то с априорно постоянной скоростью. Тогда шкалы времени и длины будут взаимозависимыми — и смена масштаба, переход от макроскопической к микроскопической картине происходит согласованным образом. Фактически мы требуем, чтобы используемая шкала скорости допускала достаточно точное ее представление числом — и физическая система не предполагает слишком малых скоростей (а значит, и бесконечно больших). Разумеется, как и любая физическая величина, скорость может определяться на разных уровнях, по отношению к разным шкалам; постоянство бывает только в абстракции.

Использование математики в физике возможно лишь при достаточно отчетливом понимании того, что именно мы собираемся изучать (или использовать на практике). Важно воспроизвести в науке условия наблюдения (или производства) — и получить качественно правильную картину на выходе. Не абстрактно, а в соответствии со строением деятельности. Например, если достаточно малое тело (физическая точка) движется быстро — человек не успевает визуально отследить перемещения и видит не точку, а ее след, отрезок линии, постепенно смещающийся в поле зрения. Скорость сигнала, который мы используем для определения положения точки (в данном случае это видимый свет) достаточно велика, и мы получаем изображение всех промежуточных положений, — но скорость обработки образа значительно меньше, и геометрия объекта определяется именно этим обстоятельством. При каком-то характере движения поперечный размер наблюдаемой фигуры значительно меньше продольного, и можно предположить, что именно это и есть «истинный» размер физического тела, а значительная продольная протяженность — артефакт, приборный эффект. Однако всякую

гипотезу, в конечном счете, предстоит физически проверять. Если, допустим, при использовании регистрирующего прибора с меньшей задержкой продольный размер существенно уменьшается, это говорит в пользу верности предположения; если нет — мы понимаем, что движется не точка, а нить конечной длины. Разумеется, возможны и косвенные методы наблюдения — и на практике мы всегда сравниваем разные свидетельства. В идеале, для установления физической точности объекта нам нужен прибор с задержкой много меньше времени, необходимого объекту для смещения на величину поперечного размера. Только в этом случае можно говорить не о расположении протяженного объекта, а о положении точки, ее пространственной координате. Если же у нас нет возможности повысить временное разрешение прибора, нам придется учесть протяженность объекта как физический факт.

Может показаться, что такая физика — не более чем оптическая иллюзия, а на самом деле... Но что такое «на самом деле»? Если мы установили, что грузовик в течение такого-то времени находится в пределах такой-то области пространства, — нам не следует в это время присутствовать в означенной области, чтобы не усугубить физический факт медицинским (вплоть до летального исхода). Для нас практически безразличны «истинные» размеры грузовика, а важен только характер движения. Если наша теория предсказывает точность — можно попытаться проскочить сквозь траекторию в подходящее (согласно расчетам) время; фактически, мы берем на себя роль еще одного прибора, работающего в иной шкале и потому способного уточнить (с риском для жизни) наши физические представления. Это не субъективно: замените человека-наблюдателя каким-нибудь физическим телом — выводы будут те же.

Однако временное разрешение прибора — не просто числовая оценка. Всякая деятельность развивается на разных уровнях, и на каждом из них своя шкала, характерные масштабы и времена. Например, промежутки времени между последовательными измерениями могут быть много меньше характерных времен движения физической системы — и тогда мы регистрирует ее «мгновенное» положение; напротив, если за время от одного наблюдения к другому система успевает сместиться на значительное расстояние, движение предстает серией прыжков, и при определенных условиях возможен «стробоскопический эффект» — кажущаяся неподвижной структура. Очень может быть, что пространство — это и есть такая иллюзия! Чтобы иметь возможность что-либо измерять, мы входим в резонанс с каким-то физическим процессом и все остальное описываем по отношению к этой глобальной структуре — системе отсчета. Другой наблюдатель будет строить систему отсчета в темпе своего движения; но если мы используем для построения один и тот же физический процесс (например, распространение света), наши системы отсчета оказываются в чем-то подобными, и возможно формальное преобразование результатов измерения от одной системы к другой — разумеется, с оговорками по поводу выбора шкал и удаленности от границ применимости модели.

Таким образом, всякой формальной модели соответствует некоторый набор шкал, по отношению к которому эта модель способна породить осмысленные (физически проверяемые) гипотезы. Никакой абсолютной шкалы, единой для любой физики, в природе не существует. Физические взаимодействия порождают не структуру пространства-времени (метрику, связности, кривизну), а само это пространство и время. Закон Кулона можно трактовать как *определение* пространства в электростатике: квадрат расстояния между заряженными частицами обратно пропорционален силе взаимодействия. Длина пути определяется степенью усталости путника (совершенной работой); время пути связано с уровнем тонуса, степенью вовлеченности в процесс преодоления. Прикладывание линейки — движение от одного деления к другому.

Простой пример: движение маятника задает пространство положений (углов отклонения). Если к этому добавить достаточно точные часы — пространство будет казаться непрерывным. Однако за счет разной скорости движения (зависящей от способа его соотнесения с часами) маятника точки этого пространства расположены неоднородно — и возникает динамическая метрика («гравитационное поле»). Измерение времени с большой дискретностью может выявить в движении решеточную структуру, по отношению к которой движения других систем выглядят случайными блужданиями.

В качестве пищи для размышления: на границе диапазона отклонений угловая скорость маятника формально обращается в ноль. Но мы знаем, что нулей в природе не бывает — тогда что происходит в другой шкале? Казалось бы, в любом случае надо остановиться, прежде чем двигаться в обратную сторону... Но вспомните: это только в математике гармонический осциллятор — то, что подчиняется уравнению гармонического осциллятора. Физика используем математическую абстракцию в области ее применимости — не более того. В какой-то иной шкале модель гармонического осциллятора установится недостаточно физической — и надо честно описывать физический маятник, с детализацией переходных процессов, с выходом из механики в термодинамику... Наконец, если копнуть еще глубже, само понятие мгновенного отклонения (точки пространства) теряет смысл — и маятник может находиться сразу в нескольких положениях, стать квантовым объектом, — или еще что-нибудь.

Но вернемся к бомовским поездам. Мы уже видели, что физическая одновременность измерения пространственных положений и мгновенная геометрия поезда существенно зависят от используемых шкал. И что в каких-то ситуациях движение может представляться пространственной структурой. Единое на всех пространство-время возможно лишь как иллюзия, артефакт, способ задания системы отсчета — еще одна абстракция. Однако движение физических систем не ограничивается лишь этим (формальным) разнообразием. Наши мысленные эксперименты ставят самый трудный вопрос: а что, собственно, мы считаем поездом? Каким образом нечто, наблюдаемое в разных местах в разное время разными наблюдателями может фигурировать в теории как один и тот же объект? В жизни вещи не просто перемещаются с места на место — они решительно меняются. Можно ли человека в разных возрастах считать тем же самым человеком? Допустим, к поезду на промежуточной станции подцепили несколько вагонов — это тот же поезд или какой-то другой? Если ориентироваться на номер маршрута в расписании — он не изменился. А физически — другая геометрия. Как правильно измерять такую, переменную длину? По одному маршруту пускают разные составы (в сопроводительных документах указывают номера вагонов). В какой мере это представляет ту же физику дела? Вот здесь и начинается настоящая относительность: определение физической системы зависит от способа ее включения в некоторую среду, непосредственно к физике отношения не имеющую. Для человека это сознательная деятельность. В неживой природе приходится говорить об иерархии физических процессов, развернутой определенным образом, так что верхние уровни задают физику нижних, выделяют существенное в их движении. И здесь понятие точки оказывается еще более расплывчатым.

Возьмем простейшую иллюстрацию — прямолинейное движение физически малого тела. Тело исчезает в одном месте — и появляется в другом. Поскольку наблюдается движение, тело находится в этих положениях заведомо не одновременно. Точно так же, время убытия и прибытия регистрируются в заведомо разных пространственных точках. Тем не менее, мы почему-то имеем право измерить пройденный путь (как если бы речь шла о размерах неподвижного объекта) и поделить на время перемещения (измеренную как бы по неподвижным часам) для вычисления скорости движения. Так и быть, пока абстрагируемся от массы и внутренних движений. Получается, что, когда теория относительности предлагает нам якобы полностью локальное описание пространства-времени — это иллюзия: по жизни, всякое движение существенно нелокально, ибо оно берет заведомо различное как одно. Проблемы квантовой теории еще серьезнее: конфигурационное пространство системы бесконечномерно, и перемещаться из одной его «точки» в другую возможно очень разными способами, наблюдать которые мы, по условиям задачи, не в состоянии.

Тем не менее, аналогия с квантовой механикой позволяет хотя бы метафорически описать движение как нахождение сразу в двух состояниях. Возьмем в качестве состояния движущегося тела взвешенную комбинацию начального и конечного положений; подходящая нормировка обеспечивает целостность системы (речь идет о движении одного и того же), а способ переключения коэффициентов от значений $(1, 0)$ к значениям $(0, 1)$ зависит от характера движения (выбранной шкалы).

Альтернативный подход основан на классической метафоре: учитывая, что физическая точка не бесконечно мала, можно представить себе ее постепенное перетекание из одного в другое, с некоторым перекрытием старого и нового; разделение начального и конечного положения также зависит от выбора шкалы.

В любом случае система оказывается многоуровневой: начальное и конечное положение сами по себе (состояния системы в абстракции от движения) — на нижнем уровне; их единство (состояние движения) — на верхнем. Есть и еще более высокий уровень, на котором заданы физические шкалы (системы отсчета), без чего соотнести друг с другом нижние уровни не получится. Еще раз подчеркну: шкалы не субъективны, это необходимый уровень всякой физической системы, так природа устроена. Выбор масштабов не прихоть наблюдателя: выбирать он может только из объективно возможного. И зависит это от характера физических взаимодействий — в том числе между наблюдаемым и наблюдателем. Когда речь заходит о движении в природе, кто кого наблюдает — вопрос сложный. Есть взаимодействие качественно разных систем — и тем самым определена система более высокого уровня, их физическая связь. При этом разделение целостного взаимодействия на взаимодействующие системы как таковые и процесс взаимодействия (представленный особой физической системой — переносчиком взаимодействия) не всегда возможно; такая теория работает только вдали от критических точек, физических особенностей (а в математике — сингулярностей, бесконечно малых и бесконечно больших величин).

На практике подойти достаточно близко к сингулярности удастся далеко не всегда. Просто потому, что наши приборы так или иначе соотносятся с масштабами наших тел. Развитие технологий неизбежно расширяет диапазон доступных шкал — но перейти от одной к другой может быть очень непросто. Например, чтобы выявить структуру релятивистского барьера (невозможность точного определения скорости света), возможно, потребуется выйти на скорости, отличающиеся от световой на ничтожные доли процента (десятки порядков). Вполне вероятно, что в каких-то условиях эффект становится существенным и при относительно малых скоростях — но заранее не очевидно, где искать. Косвенные оценки — мощнейший инструмент науки; однако велик риск подогнать наблюдения под теоретические традиции.

Как бы то ни было, есть фундаментальный факт: сама возможность движения связана с нелокальностью физических систем, их присутствием сразу в нескольких местах и временах. Более того, сами эти места и времена — выражение совместности, взаимозависимости, участия в едином процессе. А это означает иерархичность: то, что различимо на одном уровне, связано на другом. Поезд в целом — состоит из компонент (например, вагонов, локомотива и т. д.), которые мы в каком-то приближении считаем единой системой; характер связи частей задает *внутреннее* пространство поезда; на другом уровне иерархии поезд выглядит точкой (или областью) иного, *внешнего* пространства, строение которого зависит от включения в целое более высокого уровня. Но чтобы эта иерархическая конструкция не рассыпалась, требуется как-то связать разные уровни друг с другом: они существуют не сами по себе, один отражается в другом. То есть, мы вполне можем описывать структуру внутреннего пространства в терминах внешнего, и наоборот, «вкладывать» внутреннее пространство во внешнее. Однако способы такого сопоставления могут быть очень разными — хотя и не произвольными, поскольку они представляются элементами еще одного уровня той же иерархии. Когда мы говорим об одинаковости скорости света для внутреннего и внешнего наблюдателя — это один из возможных вариантов связи; другой (квантовомеханической) способ — интерпретация макроскопических величин как возможных асимптотических состояний внутреннего движения (выбор базиса). В термодинамике у нас вообще нет никакого внешнего пространства — все в физически происходит «в одной точке»; однако эта «точка» пространственна, у нее есть объем, и на каком-то промежуточном уровне система в целом представляется совокупностью связанных объемов, распадается на подсистемы. Переход от одной картины к другой связан с характером движения — что еще раз указывает на ограниченность традиционной механики, допускающей точное измерение координат.

Математика безразлична к строению физических пространств. Но общепринятый выбор формальной модели делает релятивистскую физику существенно нелокальной. Действительно, требование ковариантности опирается на допущение о возможности задания глобальных координатных систем и столь же глобальных преобразований координат. Тем самым предполагается, что такие координатные системы описывают внутреннее пространство физической системы другого уровня — системы отсчета, наблюдателя (или, если угодно, бога). Напротив, для движущихся материальных точек — это внешнее пространство, а внутри у них — плоское четырехмерие, представляющее варианты выбора возможных движений (направление и темп перехода в соседнюю точку внешнего пространства). Фактически, это внутренний наблюдатель, выстраивающий сведения о внешнем мире по степени удаленности. Поступление данных ограничено скоростью взаимодействий. Тем самым у внутреннего наблюдателя всегда есть некий горизонт, дальше которого информации о внешнем мире нет; но это вовсе не означает, что сам этот внешний мир ограничен, — логика лишь запрещает обсуждать слишком удаленные события в рамках имеющихся средств наблюдения. Однако строение внутреннего пространства не связано с внешними обстоятельствами; оно существует сразу и целиком, в нем нет никаких ограничений на сопоставление сколь угодно далеких друг от друга областей. Точно так же, внешнее для материальной точки пространство целиком существует для внешнего наблюдателя, ему не приходится постепенно достраивать его по мере развития событий. Рефлексивность иерархии вводится принципом локального соответствия: геометрия пространства становится плоской в бесконечно малой окрестности каждой точки. Тем самым один уровень связан с другим. Но характер этой связи на практике определяется привязкой к электромагнитному полю в качестве шкалы для всех иных процессов. В общем случае соответствие может быть нетривиальным: внутреннее пространство материальной точки содержит степени свободы, отсутствующие во внешнем пространстве, и наоборот, некоторые внешние координаты во внутреннем пространстве статистически вырождены.

При любом выборе шкалы, ее устройство отличается от формальных математических пространств прежде всего конечностью порогов различения. Всякая физическая точка — не просто число, не бесконечно малая область: это некая зона, в пределах которой наблюдатель (другие компоненты той же физической системы) не различает одно от другого. Это вовсе не означает дискретности пространства как такового: просто очень близкие точки в выбранном масштабе сливаются, выступают как одна материальная точка по отношению к существенным для этой системы физическим взаимодействиям; в принципе, движение (переход от одной зоны к другой) может приводить к разделению таких «точек» на несколько столь же элементарных — рождению частиц. Особенности строения физических шкал (в частности, расстояния между зонами) зависят от симметрий системы; например, наличие границ для допустимых значений какой-либо величины порождает зонные решеточные структуры (наподобие музыкальных звукорядов¹³). В частности, конечность скорости света и наличие релятивистского барьера приводит к решеточному пространству в глобальных масштабах; то же самое справедливо по отношению к пространству с геометрическими сингулярностями (вроде горизонта событий). Разумеется, симметрии тоже соблюдаются лишь приближенно, и физические границы существуют лишь при наблюдении издали.

Здесь уместно провести аналогию с атомами (или иными квантовыми комплексами). Для свободных частиц — наблюдаются сплошные спектры; по мере включения взаимодействия на этом фоне появляются характерные особенности; образование связанных состояний приводит к узким спектральным линиям, которые все же оказываются уширенными за счет виртуальных переходов в непрерывный спектр. Точно так же, геометрия пространства-времени для каждой физической системы возникает в процессе взаимодействия различных подсистем: при слабых связях физическое пространство хорошо представляется математическими; более тесные связи

¹³ L. V. Avdeev and P. B. Ivanov, "A Mathematical Model of Scale Perception", *Journal of Moscow Physical Society*, **3**, 331–353 (1993).

приводят к геометрическим и топологическим особенностям — однако абсолютно резких границ не бывает никогда.

Физические тела — не математические точки; их внутреннее устройство отражается на характере внешнего движения. Перемещение тела из одного места в другое — процесс непростой, и происходит это не мгновенно. В иерархической модели, внешнее расположение физической точки предполагает развертывание ее внутренней иерархии от некоторой вершины; чтобы переместить такую точку, надо свернуть эту иерархическую структуру и развернуть, начиная с другой вершины, — кинематически, движение есть обращение иерархии. Чем более развита внутренняя структура, тем выше инерционность движения; в механике суммарная мера этой инерционности представлена понятием массы. Взаимодействие массивных тел связано с их включением в целостность более высокого уровня; при этом свертывание и развертывание требуют дополнительных этапов: взаимодействие меняет суммарную массу. Однако при этом может потребоваться переход к другой шкале — перестройка внутреннего и внешнего пространств. Поэтому, формально математически, масса составного тела не обязательно больше суммы масс исходных тел: они существуют на разных уровнях иерархии.

Объединение физических систем в единую систему связано с построением новых шкал как в пространстве, так и во времени. Например, если мы интересуемся расстоянием между приборами человеческих размеров, разнесенными на сотни, тысячи или миллионы километров, размер составной системы выходит за рамки исходных шкал, и требуется особая процедура для перехода к новой шкале; пока мы не можем выйти за рамки обыденных величин, установить строение этой шкалы мы можем только гипотетически, в каких-то (по нашему нынешним представлениям) разумных предположениях. У нас, в частности, нет возможности наблюдать все внешнее пространство целиком — с позиций внешнего наблюдателя, — и мы не можем выйти за рамки горизонта, наложенного конечностью скорости взаимодействий. Точно так же, при необходимости координации событий отстоящих друг от друга на времена много больше их собственной продолжительности, мы опираемся на гипотетические построения, которые вовсе не обязательно отвечают строению составной системы. Такого рода проблемы неизбежны — но это не самое трудное. Есть еще и принципиальный момент: каким образом мы склеиваем два независимых пространства-времени в одно, общее для всех частей составной системы? Так, объединяя движение двух материальных точек, мы должны как-то распределить исходные восемь (внешних) координат (шесть пространственных и две временных) между внутренними и внешними степенями свободы новой системы; в нерелятивистской механике, например, целое описывают движением центра масс, а оставшиеся пространственные координаты и время — внутреннее движение системы (при условии, что шкалы внутреннего и внешнего движения различны). В теории относительности понятие центра масс плохо определимо; это связано, прежде всего, с концептуальной путаницей: скорость света считают одинаковой для внутреннего и внешнего движения — а это логическое противоречие, ибо движение каждого уровня требует отдельной шкалы, и сопоставлять скорости напрямую формально недопустимо. Физически, внутренние движения обычно связаны со скоростями значительно превышающими скорости внешнего движения, — и поэтому мы видим издали лишь некую усредненную картину, массивную точку. Если скорости внутреннего движения сравнимы с внешними скоростями, представление о материальной точке сохраняется только на значительном удалении от составной системы — то есть, лишь в достаточно крупных шкалах, по сравнению с масштабами внутреннего движения. В противном случае вместо точки мы увидим нечто распределенное по внешнему пространству (и во внешнем времени); релятивистская кинематика точки здесь просто неуместна.

Чисто формально, мы можем объединять что угодно с чем угодно. Это тоже математическая абстракция — понятие множества. Но физика — наука о взаимодействиях. Физическая система возникает не потому, что мы формально складываем разные движения; наоборот, возможность сложения связана с реальной иерархичностью, с существованием как единой системы, так и ее компонент. Разного рода «эмерджентные» свойства в абстрактных

системах — всего лишь иллюзия. Да, такие объединения теоретически возможны, — но это не физика, это совсем другая наука... Со своими собственными пространственно-временными представлениями.

Подведем итоги. Никакой «истинной» геометрии пространства и времени нет и быть не может. Есть разные физические системы — их геометрия (и топология) определена характером взаимодействий внутри системы и способом включения в окружающую среду (система отсчета). Внутреннее и внешнее движения происходят в разных масштабах; объективно существуют наборы возможных шкал. Любые формальные выкладки имеют смысл только при сохранении этого разделения уровней, вдали от переходных областей. В частности, механика релятивистской точки (и основанная на ней общая теория относительности) справедливы лишь вдали от сингулярностей, когда система действительно предстает совокупностью точек, расположенных в некотором едином пространстве и эволюционирующих в едином времени. Универсальность такого представления иллюзорна, и будущие открытия значительно расширят круг доступных парадигм.

СОДЕРЖАНИЕ

О виртуальности	1
Отзвуки Типлера	3
Логика парадокса	5
Квантовая нелокальность, звездная эволюция и единство мира	6
Эксперимент ЭПР и взаимно дополнительные парадигмы в физике	8
Время и интервал.....	13
Дырявая чернота и логика	16
Наблюдатели, время, измерение скорости.....	21
От мудрости до безумия	28
Глобальный релятивизм и относительность локальности.....	36
Энергия и информация	46
Феноменология пространства и времени.....	50
Ослепительные прозрения.....	58
О нелинейной кинематике.....	62
Светлая мысль о темной материи	64
Об инерциальном вращении.....	66
Откуда растут головы	70
Равновесие в многообразии.....	76
Относительность иллюзий	83
Иерархические наблюдения	86
Иллюзорная физика.....	95