

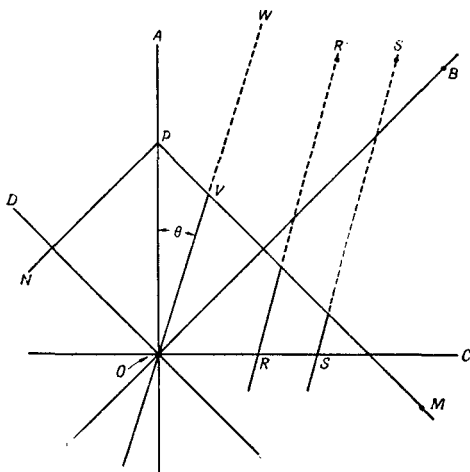
---

*Реконструкция прошлого  
как сущность диаграмм  
Минковского*

Когда теория относительности объединила пространство и время в единый четырехмерный пространственно-временной континуум, это породило тенденцию понимать диаграммы Минковского как изображение арены или поля действия, которое наблюдатель может увидеть все сразу. Иначе говоря, имеется тенденция почти произвольно занять позицию такого «наблюдателя», который, так сказать, стоял бы вне пространства и времени, обозревая Вселенную от начала и до конца не только в пространстве, но и во времени, подобно тому, как летящий на самолете человек обозревает раскинувшийся под ним ландшафт. При этом хочется представлять себе мировые линии других наблюдателей как пути, по которым движутся эти наблюдатели, как двигался бы по своим рельсам поезд, когда его наблюдают с самолета.

Однако небольшое размышление показывает, что подобный взгляд на диаграмму Минковского не имеет ничего общего с действительностью. Возьмем, например, покоящегося относительно лаборатории наблюдателя, мировая линия которого на фиг. 21 обозначена как *OA*. В каждый момент этот наблюдатель изображается на диаграмме точкой, например *P*. Этот наблюдатель не может обозревать всю диаграмму Минковского. Напротив, он может знать лишь о событиях, лежащих внутри его светового конуса, ограниченного прямыми *PM* и *PN* (прошлое). Поэтому ему неизвестны ни его абсолютное будущее, ни абсолютно безразличная область.

Действительное положение вещей, воспринимаемое наблюдателем в некоторый момент  $P$ , поистине удивительно отличается от того, что изображено на диаграмме Минковского. Дело не ограничивается тем, что наблюдатель знает лишь о событиях на части диаграммы, представляющей его абсолютное прошлое. Более того,



Фиг. 21.

он не наблюдает и своего прошлого в том виде, как оно изображено на этой диаграмме. Ведь в каждый данный момент мы воспринимаем лишь то, что действительно присутствует в этот момент. То, что в данный момент мы рассматриваем как прошлое, в этот момент на самом деле уже не существует. Все, что осталось от прошлого, — это только его след, существующий в настоящем. Этот след может быть в нашей памяти, или на фотопластинке, или он может сохраниться в структуре вещей (например, годовые кольца у деревьев, скелеты доисторических животных, слои минералов и отложений, изучаемые геологами и т. п.). Из этих следов мы и *восстанавливаем* прошлое в нашем воображении, а также

в рисунках и моделях. Ясно, что реконструкция динозавра — это не настоящий динозавр, так же как фотография прошедшего события не есть само событие. Так как наши воспоминания бывают полны жизни, движения, красок и чувства, то мы часто поддаемся их гипнозу и относимся к ним, как если бы они еще существовали. На самом деле все, что хранит наша память, — также лишь след минувшего прошлого. Этот след хранят клетки нашего мозга и, так сказать, «проигрывают» прошлое в настоящем, подобно тому, как можно проиграть граммофонную пластинку или просмотреть кинофильм.

Мы можем предсказать вероятное будущее, основываясь на наших познаниях: не только на самих событиях и фактах прошлого, но и на общих закономерностях, тенденциях и законах, выведенных путем абстрагирования (и сознательно, и интуитивно) из всего нашего индивидуального и коллективного опыта. Но в то время, когда мы предсказываем будущее, это будущее все же не существует. Оно на самом деле не что иное, как образ, ожидание, представление. Если наши предсказания хорошо обоснованы, то действительное будущее, когда оно наступит, может мало отличаться от предсказанного нами. Но, вообще говоря, наши предсказания очень часто ошибочны либо потому, что не соответствуют действительности наши познания о законах и закономерностях природы, либо ввиду недостаточности и неточности наших знаний об исходных фактах. Кроме того, весь наш опыт говорит о том, что все подобные предсказания подвержены вторжению случайных факторов, т. е. таких, которые происходят из областей, не поддававшихся в данный момент учету в наших исследованиях, факторов, которые нам поэтому неизвестны, но которые могут, однако, сыграть решающую роль при выяснении того, что должно произойти в действительности.

Теория относительности дает хороший пример важности случайных факторов. Как мы видели раньше, наблюдатель может иметь в данный момент  $P$  информацию лишь о том, что было в его абсолютном прошлом. Даже если он сможет установить связь с другими на-

блюдателями, он узнает лишь, что они наблюдали в *их* абсолютном прошлом в то время, которое *для него* также является абсолютно прошлым. Поэтому исходит ли познание из опыта одного наблюдателя или является коллективным познанием группы людей или общества, оно все равно должно основываться лишь на том, что прошло и исчезло к тому моменту, в который оно рассматривается. Однако громадное множество фактов, имеющих в природе, настолько систематично и упорядочено, что они с течением времени заметно не изменяются. Для таких фактов наши познания, основывающиеся на прошлом, будут хорошим приближением к действительности. Тем не менее, как это было показано в предыдущих главах, мы никогда *априори* не можем знать, где лежат границы применимости законов, которые выполнялись в наших прошлых исследованиях, и всегда должны быть готовы к тому, что при новых экспериментах в новых областях прежние закономерности перестанут выполняться.

Даже если бы мы смело могли положиться на наши познания об общих законах природы как на абстракции нашего прежнего опыта, наблюдений и эксперимента, все же ясно, что мы не сможем избежать случайностей по той простой причине, что не можем в точности и полностью знать происходящее относительно нас в абсолютно безразличной области. Если, например, наблюдатель  $P$  (см. фиг. 21) увидел частицу, движение которой описывается мировой линией  $OV$  в его абсолютном прошлом, то он имеет основание предполагать, что эта частица будет продолжать существовать и на отрезке  $VW$ , являющемся продолжением  $OV$  в область вне светового конуса с вершиной в точке  $P$ . Если бы он располагал богатой информацией о том, что происходило внутри его светового конуса в прошлом, то смог бы составить довольно полное представление о том, что имеет место вне этого светового конуса. Однако предсказанная им картина неизбежно подвержена случайностям, так как в абсолютно безразличной относительно наблюдателя  $P$  области всегда может происходить что-нибудь ему неизвестное (например, в лабораторию может неожиданно попасть метеорит из космоса, нарушить

работу приборов и отклонить движение частицы от предсказанного — продолжения мировой линии  $VW$ ). Вместе с тем очевидно, что происходящее в абсолютном будущем относительно наблюдателя  $P$  зависит от существующего в области, абсолютно безразличной относительно него, так что и его будущее также подвержено действию случайных факторов.

На первый взгляд все решает вопрос о том, не сможет ли *полное и определенное* знание абсолютного прошлого  $P$  сделать возможным столь же полное и определенное предсказание о происходящем в области, абсолютно безразличной относительно него, позволив таким образом в принципе устранить влияние случайных факторов. Этот вопрос, однако, имеет мало смысла, так как подобное полное и определенное знание прошлого, очевидно, невозможно. Конечно, такое знание требовало бы неограниченного углубления в прошлое и проведения наблюдений и измерений с соответственно повышенными степенями точности и чувствительности, так как во многих случаях то, что произойдет в нашем будущем, может критически зависеть от «мелочей», случившихся давным-давно. Но следы этого далекого прошлого неизбежно стираются и ускользают от наблюдений. Чем дальше мы углубляемся в прошлое, тем к более чувствительным и точным методам измерения должны прибегать и тем лучше должны понимать и знать законы природы, чтобы иметь возможность истолковать следы, наблюдаемые в настоящем, и по ним правильно восстановить прошлое. Ясно, что невозможно иметь столь чувствительные и точные приборы, а равно и достичь столь полного знания и понимания всей совокупности законов природы, чтобы иметь возможность получить *исчерпывающую и достоверную* информацию о нашем собственном абсолютном прошлом, хотя бы в какой-то данный момент нашего существования. Это означает, что заключения об абсолютно безразличной относительно нас области на основании знаний о нашем абсолютном прошлом по необходимости неполны. В абсолютно безразличной относительно нас области всегда имеется поэтому много неизвестного для нас. Хотя бы уже по одной этой причине предсказания о будущем

должны быть ограничены действием случайных факторов, вызываемых неизвестными нам событиями, происходящими в тот момент, когда делается предсказание. Конечно, мы можем узнать о них позднее (когда они уже станут частью нашего абсолютного прошлого), но тогда уже будет существовать новая абсолютно безразличная область, которая не будет нам известна в рассматриваемый момент. Итак, мы всегда будем сталкиваться с недостатком информации.

Можно показать, что все эти рассуждения неразрывно связаны с тем существенным фактом, что *наблюдатель является частью Вселенной*. Он не стоит вне пространства и времени, а подчинен законам физики: в каждый момент времени он занимает определенное место в общем процессе развития Вселенной и должен рассматриваться по отношению к этому процессу, причем его связь с этим последним подчинена тем же законам физики, которые он пытается изучить. В результате, из-за того, что законы физики утверждают, что никакое физическое воздействие не может передаваться быстрее света, на информацию, известную наблюдателю, в каждый данный момент налагаются определенные ограничения.

Еще более поразительны те следствия, которые вытекают из квантовой теории в связи с тем фактом, что наблюдатель — это часть Вселенной. Дело в том, что если учесть неделимые кванты, связывающие наблюдателя с предметом его наблюдения, то окажется, что в каждом акте наблюдения принимает неустрашимое участие и сам наблюдатель объекта, причем это участие приводит к *возмущению* наблюдаемой системы. В результате, как показал Гейзенберг, обсуждая принцип неопределенности, каждый вид измерения содержит в себе некоторый минимум неопределенности. Может быть, не так широко известно, что уже сама теория относительности содержит с неизбежностью в своих предсказаниях некоторую собственную неопределенность, хотя и другой природы, чем в квантовой механике, но все же близкую к ней по своим следствиям.

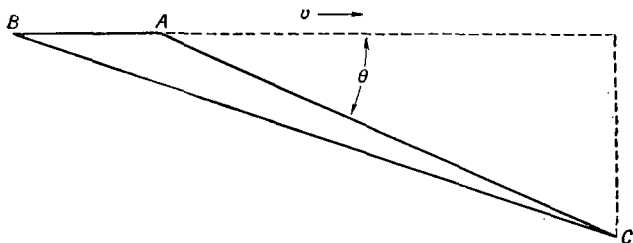
Вернемся, однако, к тому факту, что прошлое (по отношению к данному моменту, например к  $P$ ) на самом

деле уже не существует, как могло бы показаться из диаграммы Минковского, а является в действительности лишь *реконструкцией* (на основании которой мы, конечно, можем предсказывать вероятное будущее). Пример этого был приведен в предыдущей главе, когда наблюдатель в лаборатории следил за своим братом-близнецом, летевшим на космическом корабле, и наоборот. Каждый из них *реально наблюдает* сначала замедление процессов, происходящих у другого, когда космический корабль удаляется от лаборатории, а затем ускорение этих процессов, когда корабль возвращается назад, и больше ничего. В каждый данный момент наблюдатель помнит (или имеет записи) о том, что он видел до этого. Однако он не принимает свои воспоминания или записи за описание того, что происходило в действительности. Более того, он должен их истолковать или «внести в них поправку» на влияние времени, потребовавшееся свету, чтобы достичь его. Эта поправка предполагает *знание общих законов* физики, хотя бы в той мере, в какой они относятся к процессам распространения световых и иных сигналов. Ясно, что такая процедура приводит к *реконструкции* того, что, как он считает, произошло с другим наблюдателем на самом деле. Правильность такой реконструкции зависит от правильности его познаний законов распространения сигналов. Так, наблюдатель мог бы знать лишь законы нерелятивистской физики, и в этом случае в его реконструкции содержались бы характерные ошибки (существенные при больших скоростях), избежать которых было бы можно, воспользовавшись законами теории относительности.

Подобной же реконструкцией мы вынуждены пользоваться для определения длин предметов. Рассмотрим, например, линейку, движущуюся относительно лаборатории со скоростью  $v$ , концы которой изображены на фиг. 21 мировыми линиями  $RR'$  и  $SS'$ . Чему равна ее длина в момент, соответствующий точке  $O$  на мировой линии наблюдателя в лаборатории? Ясно, что этот наблюдатель не мог связаться с событиями  $R$  и  $S$  в момент, соответствующий событию  $O$ . Он мог узнать о них (например, с помощью световых сигналов) *лишь позже*. На основании этих данных он мог мысленно реконст-

руировать положение линейки, которое она занимала в момент, соответствующий событию  $O$ .

По определению, длиной линейки называется, конечно, расстояние между ее концами, *взятыми в один и тот же момент времени*, что и вычисляет наш наблюдатель, учитывая то время, которое требуется свету на путь до него от разных концов линейки. Чтобы получить необходимые для такого вычисления данные,



Фиг. 22.

он мог, например, произвести многократное фотографирование линейки, а зная расстояние от линейки до фотоаппарата и ориентацию последнего, он мог по общеизвестным геометрическим правилам вычислить длину этой линейки. Рассматривая эти его действия, можно отчетливо понять, что некоторые релятивистские свойства, например лоренцево сокращение движущихся объектов, в большой степени являются результатом принятых нами определений изучаемых свойств. Так, если линейка двигалась в направлении своей длины, а фотографирование велось с большого расстояния под углом  $\theta$  к направлению движения, то по самой фотографии еще *нельзя* будет судить о расстоянии между концами линейки в один и тот же момент времени (фиг. 22). Фотоаппарат просто выбирает и фиксирует все световые лучи, которым удалось пройти через его затвор в течение того (ничтожно малого) интервала времени, пока затвор был открыт. Предположив, что линейка видна из точки  $C$  (положение фотоаппарата) под весьма



малым углом  $\Delta\theta$ , и взяв соответствующее приближение, мы без труда вычислим, что световые лучи, зафиксированные фотоаппаратом  $S$  от концов  $B$  и  $A$  линейки, были испущены этими концами в моменты времени, различающиеся между собой на величину

$$\Delta t = (l - v \Delta t) \frac{\cos \theta}{c},$$

где  $l$  — длина нашей линейки. Отсюда

$$\Delta t = \frac{l}{c} \frac{\cos \theta}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta}.$$

Поэтому ввиду движения линейки ее наблюдаемая на фотографии длина будет равна

$$l' = \frac{l}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta}.$$

Значит, наблюдатель должен будет внести «поправку» на этот эффект, если ему нужно определить «длину» линейки при данном значении его временной координаты. Чтобы сделать такую поправку, он должен знать величину скорости движения линейки. Он может найти ее, сняв, например, серию фотографий в ряд последовательных моментов времени, которые он измеряет по своим часам, если он видит, что положение линейки изменяется.

Приведенными примерами мы проиллюстрировали степень абстрактности свойств (например, длины и частоты) в релятивистской области. Непосредственно сами по себе они если и наблюдаются, то редко. Более того, свойства удается оценить лишь после процесса реконструкции, основывающегося главным образом на знании прошлого — как общего, так и конкретного.

В основном наши знания имеют описанный выше характер. Ясно, например, что вся информация о доисторических временах целиком почерпнута из реконструкций тех следов, которые от них сохранились по сей день. Однако сведения и о временах исторических являются лишь реконструкцией, опирающейся вдобавок на сохранившиеся записи о делах и высказываниях людей (а эти записи оказываются часто неправильными, дезин-

формирующими, неполными и т. д.). И даже наши познания о собственном недавнем прошлом — это тоже аналогичная реконструкция, основанная на том, что нам удастся вспомнить. Таким образом, все прошлое — это своего рода реконструкция. Разумеется, она в большой мере реализуется на основании учета различных привычных нам закономерностей, полубессознательно. Но тем не менее нельзя отрицать, что прошлого уже нет и что от него остались лишь следы, которые мы интерпретируем, упорядочиваем и реконструируем, превращая в некоторое приближенное, вообще говоря, неполное представление о том, что случилось на самом деле. Это знание содержит лишь некоторую ограниченную и неполную часть истины, что делает его, однако, полезным общим руководством в будущих делах, если только быть готовым к признанию в нем ошибок по мере обнаружения.

Имея все это в виду, перейдем теперь к вопросу о том, каков истинный смысл диаграмм Минковского. Ответ гласит: диаграммы — это род «карт» мировых событий, правильно представляющих порядок, общую картину и структуру этих реальных событий, но это — вовсе не сам реальный мир. Ведь каждому известен тот факт, что карта мира делается из бумаги, красок и т. д. и что *карта* — это не сам мир. Тем не менее хорошая карта обладает *структурой*, в определенных отношениях подобной структуре мира. Например, если на такой карте между двумя городами *A* и *B* изображен некоторый город *C*, то при путешествии из *A* в *B* мы и в самом деле обнаружим, что проследуем через город *C*. (При этом, конечно, плохой картой нужно назвать такую, структура которой не имеет отношения к структуре того, что должно быть изображено на ней.)

Таким образом, можно сказать, что физика создала разновидность карт событий, происходящих в мире. Эти карты таковы, что если, например, событие *B* на карте лежит между событиями *A* и *C*, то мы обнаружим, что при реальных наблюдениях событие *B* происходит после события *A*, но раньше, чем *C*. В аналогичной карте для механики Ньютона пространство и время совсем не были бы связаны друг с другом, так что если бы хогь

один наблюдатель нашел, что данное событие  $A$  предшествует другому событию  $B$ , то отсюда следовало бы, что и для других наблюдателей реальная картина была бы такой же. Но из теории Эйнштейна физики получили другую «карту», более хитрую, в которой пространство и время тесно связаны друг с другом, а именно так, как это имеет место на диаграммах Минковского. Если на такой карте два события находятся по отношению друг к другу во взаимных абсолютно безразличных областях, то получается, что для наблюдателей, движущихся с разными скоростями, порядок этих событий во времени может быть разным — одни будут говорить, что событие  $A$  произошло раньше  $B$ , а другие — что  $B$  произошло раньше  $A$ . Но если каждое из событий лежит внутри светового конуса с вершиной в другом событии, то карта утверждает, что все наблюдатели одинаково определят, какое из событий произошло раньше, а какое — позже (так что порядок следования причинно-связанных между собой событий будет однозначно определен).

Очевидно, что даже когда речь идет об описании Земли — географии, карта является тщательной реконструкцией, основанной на громадном числе наблюдений, разработанной, упорядоченной и построенной в соответствии с определенными геометрическими принципами, являющимися абстракциями, которые были выведены из обширного прошлого опыта. Карта часто содержит ошибки, которые исправляются на основании позднейших наблюдений; временами коренным образом меняется и *структура* карты при распространении опыта на более широкие области (например, когда представление о том, что Земля плоская, сменилось представлением о шарообразности Земли). Более того, никто не считает, что карта *полная*; она — всего лишь общее руководство, и чтобы увидеть, какова в действительности данная страна, необходимо посетить эту страну.

Подобным же образом и представления физиков о пространстве и времени основываются на некоторой реконструкции, находящейся в согласии с соответствующими геометрическими, динамическими и структурными

принципами, выработанными как абстракции на основании обширного прошлого опыта. В этих представлениях также содержатся ошибки, которые подлежат исправлению на основании дальнейших наблюдений, и они также подвержены коренным структурным изменениям, когда наш опыт проникает в новые области. Эта карта, как и карта Земли, никогда не станет полной. Действительно, она создана лишь на основании того, что уже прошло и чего больше нет. Но если всему этому придана форма хорошей концептуальной карты, то она может послужить общим руководством для предсказания будущих событий. Тем не менее, чтобы увидеть, каким в действительности окажется будущее, мы, конечно, должны ждать, пока оно не наступит на самом деле. При этом временами бывают и неожиданности, совсем не соответствующие предначертаниям нашей карты.

Если различие между картой и той областью, которая на ней изображена, настолько самоочевидно, то едва ли кто-нибудь перепутает их (как едва ли кто-нибудь перепутает картину, изображающую еду, с той реальной едой, которой он сможет насытиться). Однако наши представления о пространстве и времени (приобретенные в повседневном опыте и выведенные из физических исследований), оказывается, не так уж трудно перепутать с тем, что имеет место на самом деле. Например, когда Ньютон выдвинул идею об абсолютных пространстве и времени, физики вовсе не думали, что это всего лишь разновидность концептуальной карты, структура которой может отчасти правильно соответствовать реально протекающим физическим процессам, а отчасти быть ложной. Напротив, они были уверены, что *реально существующее и есть* сами абсолютные пространство и время. Теперь же, когда оказалось, что это представление имеет ограниченную область применимости, вероятно, возникает стремление уверить себя, будто то, что *есть на самом деле*, — это то релятивистское пространство-время, которое изображено на диаграммах Минковского.

Можно избежать многих недоразумений такого рода, сказав сразу, что и ньютоновское и эйнштейновское

пространство-время — это концептуальные карты, и структура каждой из них в своей области подобна структуре реальных совокупностей тех событий и процессов, которые можно наблюдать на самом деле. При этом мы будем всегда готовы к тому, чтобы признать возможной необходимость все новых видов концептуальных карт, как только физика вступает в свою новую область.

Любая подобная карта является тем, чем не является мир. Иначе говоря, карта — это идея, картина, описание или представление, мир же ничему такому не тождествен. Но, как это свойственно мышлению, соответствующие действительности (адекватные) идеи дают структуру, похожую на то, что есть на самом деле. При этом проверить адекватность идеи можно, убедившись, что обнаруженная в реальном опыте структура подобна вытекающей из этой идеи. В противном случае потребуются новые представления, приводящие к новым структурам, которые должны быть адекватными обнаруженным среди реально наблюдаемых фактов.

При использовании любых карт (в том числе концептуальных) бывает необходимо на них сориентироваться, т. е. работающий с ними должен определить, какая точка карты изображает его собственное положение, а какая линия — то направление, куда он смотрит. Сделав это, он убеждается, что выбор любой точки локализации и любого направления наблюдения дает единый взгляд на мир. Однако с помощью хорошей карты, обладающей адекватной структурой, можно также сопоставить, как меняется перспектива, если глядеть из разных точек; и плодом соответствующего абстрагирования будет определение характеристик, остающихся инвариантными вне зависимости от выбора «угла зрения». Все это обогащает наши знания и понимание нами истинной природы изучаемой области. Поэтому, когда два наблюдателя, обладающих разными перспективами, обмениваются полученными ими данными наблюдений, они не должны вступать между собой в спор, выясняя, чья точка зрения «верна», а чья — «ошибочна». Вместо этого они должны сравнить свои карты и попытаться вместе понять, почему каждый из них, глядя на одну и ту же

область, имеет свою особую перспективу и ввиду этого вырабатывает свою собственную точку зрения, находящуюся в определенной связи с точкой зрения другого. (Конечно, если они не приходят к такому пониманию даже после серьезного анализа, может появиться опасение, что структура карт нуждается в переработке.)

В механике Ньютона роль местоположения и перспективы наблюдателя была крайне преуменьшена. Весьма вероятно, что физики всегда понимали неизбежность существования перспективы у реальных наблюдателей, но они думали, что такая перспектива не должна затрагивать фундаментальных законов физики. А именно, они считали, что физические процессы протекают в «абсолютных» пространстве и времени, не зависящих от того, каким образом мы их наблюдаем и измеряем, т. е. перспектива, угол зрения наблюдателя (или его приборов) не должны были, по их мнению, фигурировать в этих законах. Напротив, идея Эйнштейна состоит в том, что любая конкретная диаграмма Минковского — это карта, соответствующая тому, что будет наблюдаться в системе, движущейся с определенной скоростью и ориентированной определенным образом. Значит, в этой карте уже как-то отражена перспектива наблюдателя. Более того, как мы видели, каждый наблюдатель, движущийся с заданной скоростью, в каждый момент видит мир под другим углом зрения, так как он обладает лишь информацией о своем абсолютном прошлом, относящейся к разным областям пространства-времени в разные моменты существования этого наблюдателя. Итак, и то, что видят разные наблюдатели, и то, что видит в разные моменты времени один и тот же наблюдатель, — все эти результаты наблюдений необходимо постоянно сопоставлять друг с другом, относя их к пространственно-временной карте, структура которой правильна, и таким путем обогащать свои познания и понимание того, что на самом деле инвариантно и потому не зависит от конкретной перспективы каждого наблюдателя.

Поэтому ясно, что, хотя теория относительности подчеркивает особую роль каждого наблюдателя совсем иначе, чем это делали прежние теории, она тем не менее не впадает ни в какой «субъективизм», когда физика

---

сводилась бы лишь к тому, что сочтет более удобным этот наблюдатель или что он по своему желанию выберет. Напротив, ее лейтмотивом служит до сих пор почти полностью замалчивавшийся и забытый *факт*, что каждому наблюдателю неизбежно свойственна своя особая перспектива, делающая некоторым образом уникальной его точку зрения. Признание наличия такой особой перспективы позволяет расчистить почву для более реалистического выяснения того, что в действительности инвариантно и не зависит от перспективы наблюдателя.