

Как только наблюдатель станет приближаться к центру, кривизна пространства-времени начнет увеличиваться; она станет бесконечной, когда он подойдет вплотную к центру, и центральная область будет казаться ему «аномальной» во многих отношениях. То, что он не может послать сигнал наружу, оказавшись внутри сферы Шварцшильда, будет ему совсем неочевидно. Сигналы, которые он посылает, будут с его точки зрения распространяться нормально. Они не смогут попасть во внешнюю область только потому, что эта внешняя область, как ему кажется, удаляется от него со скоростью света. Именно поэтому его световые сигналы не могут достичь границы. Но так как эта граница ничем особенным не выделена, он не может обнаружить движение этой границы от него. Если он обратит внимание на своего коллегу — стационарного наблюдателя, который не пожелал сопровождать его при падении внутрь, он отметит, что часы его коллеги идут все медленнее и медленнее, однако они не остановятся совсем. Обратно, если стационарный наблюдатель взглянет на часы своего падающего друга, то он обнаружит, что его часы идут все медленнее и медленнее и никогда не покажут тот момент, когда падающий наблюдатель пересечет сферу Шварцшильда.

15. Горизонты событий

О горизонтах событий в дорелятивистской физике ничего не знали, но в релятивистской физике — это вещь обычная. Мы встречаемся с горизонтами событий даже тогда, когда никаких полей тяготения нет и в поmine. Речь идет о двух наблюдателях, участвующих в специально подобранных ускоренных движениях. На рис. 56, где указаны координаты x и t , проведены мировые линии двух наблюдателей, которые удаляются друг от друга с ускорением. Ни один из них не будет в состоянии увидеть другого, если каждый из них движется с постоянным ускорением и так, что направления ускорения этих наблюдателей противоположны. Для этого нужно только, чтобы светоподобная прямая не пересекала обе траектории. Если в некоторый момент времени расстояние между двумя наблюдателями было равно D и каждый из них имел постоянное ускорение, то

картина, изображенная на рис. 56, будет иметь место при условии, что произведение ускорения наблюдателей на величину D больше удвоенного квадрата скорости света. Это условие выполняется, например, если ускорение каждого из наблюдателей будет равно примерно ускорению силы тяжести на поверхности Земли

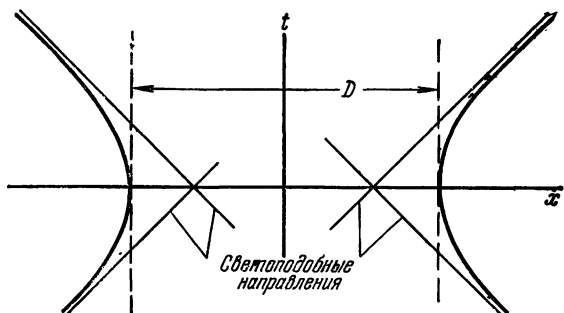


Рис. 56. Два наблюдателя, движущихся с ускорением.

(10 м/сек^2), а исходное расстояние между обоими наблюдателями будет больше двух световых лет.

Но есть и другие виды горизонта событий. Мы снова разберем случай, когда гравитационного поля нет. Пусть один из наблюдателей движется без ускорения, а другой — с ускорением. Из рис. 57 видно, что наблюдатель O_2 , движущийся без ускорения, не увидит сначала наблюдателя O_1 , но зато сможет его увидеть после момента времени R (кривая на рисунке — гипербола). Он может дать знать о себе своему коллеге, но только в том случае, если он пошлет сигнал до того, как наступит момент времени B . Позже он станет для своего коллеги уже невидимым. В промежутке времени между моментами A и B он не может ни послать, ни получить никаких сигналов. С другой стороны, наблюдатель, движущийся с ускорением, в любой момент видит своего коллегу и может посылать ему сигналы; однако все его наблюдения ограничены историей наблюдателя движущегося без ускорения, до момента A , а все сигналы O_1 , посланные наблюдателю O_2 , попадут к нему лишь после момента времени B .

Для обоих наблюдателей горизонт событий не проявляется в виде неожиданного включения или выключения связи. Например, когда наблюдатель O_2 начинает в момент B видеть свет, посылаемый наблюдателем O_1 , то сначала ему кажется, что никакого света нет, а затем интенсивность света быстро возрастает до конечного значения. Но это нарастание всегда плавное.

Вообще говоря, горизонт событий появляется в тех случаях, когда на траектории какого-то наблюдателя или какого-то объекта либо световой конус прошедшего, либо световой конус будущего не перекрывает всех частей мира (Вселенной). В плоской Вселенной Минковского световые конусы, связанные с любым инерциальным наблюдателем, фактически перекроют всю Вселенную Минковского, потому что световой конус прошлого, связанный с инерциальным наблюдателем, уже обладает таким свойством. Инерциальный наблюдатель рано или поздно сможет увидеть любое событие независимо от того, где и когда оно наступило, потому что световой конус будущего также перекрывает всю Вселенную; инерциального наблюдателя или любой

объект, движущийся без ускорения, можно увидеть из любой точки и в любой момент времени (рис. 58 и 59). Из рис. 56 и 57 можно понять, что, когда наблюдатель движется с ускорением (неинерциальный наблюдатель), связанные с ним световые конусы могут и не перекрывать всю Вселенную, так что такой наблюдатель увидит совсем не все; точно так же объект, движущийся ускоренно, для некоторых наблюдателей может оказаться невидимым все время или в некоторые промежутки времени.

Когда есть гравитационное поле, ситуация похожа на то, что происходит в пространстве-времени Минковского, однако она усложняется тем, что наблюдатель может быть «в покое», и все же не в свободно падающей системе. В этих условиях может случиться даже так, что два наблюдателя, которые находятся в свободно падающей сис-

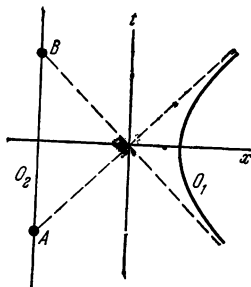


Рис. 57. Два наблюдателя, один из которых движется с ускорением, второй связан с инерциальной системой отсчета.

теме, оказываются вне предела событий каждого. В шварцшильдовском гравитационном поле, создаваемом одной большой массой, покоящийся наблюдатель, находящийся вне сферы Шварцшильда, не может установить связи ни с какой областью под сферой Шварцшильда; однако это

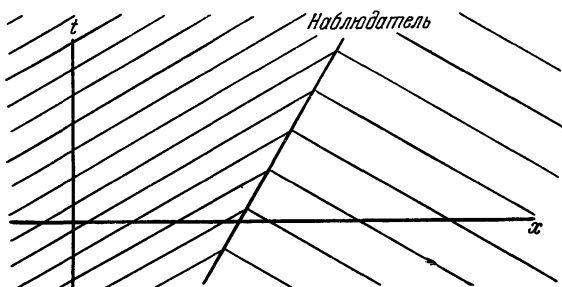


Рис. 58. «Световой конус прошлого» инерциального наблюдателя.

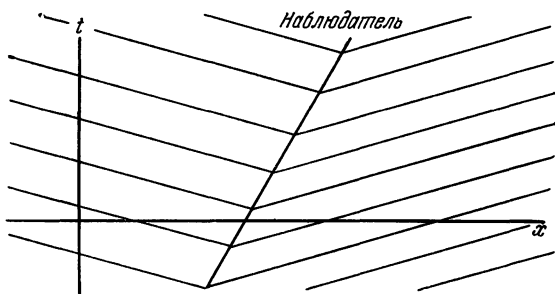


Рис. 59. «Световой конус будущего» инерциального наблюдателя.

вполне доступно свободно падающему наблюдателю, если он движется точно по радиусу. Особый случай представляет движение наблюдателя по круговой орбите вокруг большой массы; это движение является свободным падением на траектории типа орбиты планет. Для такого наблюдателя расстояние от центральной массы остается неизменным, в точности так же, как и для стационарного наблюдателя, и он также не в состоянии установить связь с об-

ластью под сферой Шварцшильда. Этот пример показывает нам, что по отношению к горизонту событий свободно падающий наблюдатель совсем непохож на инерциального наблюдателя во Вселенной Минковского.

Наша жизнь протекает в условиях слабого гравитационного поля, поэтому рассуждения о горизонте событий могут показаться забавой теоретиков, не имеющей никакого отношения к реальной астрономии. Но это совсем не так. Можно думать, что горизонт событий окажется существенным для двух случаев: при катастрофическом коллапсе очень больших масс и для возможности наблюдения на космологических расстояниях, сравнимых с размерами всей Вселенной в целом.