

СОДЕРЖАНИЕ

<i>М. Атья</i> . Предисловие	5
1. <i>Стивен Хокинг</i> Классическая теория	7
2. <i>Роджер Пенроуз</i> Структура пространственно-временных сингулярностей	37
3. <i>Стивен Хокинг</i> Квантовые черные дыры	50
4. <i>Роджер Пенроуз</i> Квантовая теория и пространство-время	79
5. <i>Стивен Хокинг</i> Квантовая космология	94
6. <i>Роджер Пенроуз</i> Твисторный взгляд на пространство-время	127
7. Обсуждение	146
Список литературы	167

Стивен Хокинг

КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

В этих лекциях Роджер Пенроуз и я хотели изложить наши связанные друг с другом и в то же время различные точки зрения на природу пространства и времени. Каждый из нас по очереди прочтет по три лекции, после чего последует обсуждение наших различных подходов. Я должен подчеркнуть, что это будут лекции, рассчитанные на подготовленную аудиторию. Так, мы подразумеваем, что читателю известны основные понятия общей теории относительности и квантовой теории.

Существует короткая статья Ричарда Фейнмана, излагающая его понимание ситуации на конференции по общей теории относительности. По-моему, это была Варшавская конференция 1962 г. В ней были высказаны нелюбезные замечания по поводу общей компетентности участников конференции и уместности того, чем они занимаются. В том, что общая теория относительности вскоре приобретет гораздо лучшую репутацию и вызовет бо льший интерес, мы во многом обязаны работам Роджера Пенроуза.

До этих работ общая теория относительности формулировалась в виде беспорядочного набора уравнений в частных производных в единственной координатной системе.

Люди настолько радовались, когда находили решение этих уравнений, что не заботились о том, что эти решения, возможно, не имеют физического смысла. Однако Роджер внес в эту область такие современные концепции, как спиноры и глобальные методы качественного анализа. Он первый показал, как можно изучать общие свойства уравнений теории относительности без точного их решения. Именно ему принадлежит первая теорема о сингулярностях, которая привела меня к изучению причинной структуры и инспирировала мою классическую работу по сингулярностям и черным дырам.

Я думаю, мы с Роджером в значительной мере согласны друг с другом, когда речь идет о явлениях в классической области. Однако мы различаемся в наших подходах к квантовой гравитации и к самой квантовой теории. Хотя физики, занимающиеся частицами, считают меня опасным радикалом за предложение о возможной потере квантовой когерентности, я определенно консерватор по сравнению с Роджером. Я принимаю позитивистскую точку зрения, что физическая теория есть просто математическая модель и что бессмысленно спрашивать, соответствует ли ей какая-либо реальность. Вместо этого мы можем лишь спросить, находятся ли ее предсказания в согласии с соответствующими наблюдениями. Мне кажется, что Роджер в сердце платонист, но ответ на этот вопрос он должен дать самому себе.

Хотя и предлагались гипотезы о том, что пространство-время может иметь дискретную структуру, я не вижу причин отвергать непрерывные теории, которые оказались столь успешными. Общая теория относительности является прекрасной теорией, которая согласуется со всеми выполненными наблюдениями. Возможно, она потребует модификации на планковских масштабах, но я не думаю, что это повлияет на большинство предсказаний, которые могут быть получены. Вполне возможно также, что общая теория относительности является лишь низкоэнергетическим прибли-

жением для некоторой более фундаментальной теории, подобной теории струн, которую, как мне кажется, сильно переоценили. Во-первых, до конца не ясно, почему общая теория относительности при комбинировании с другими полями в рамках теории супергравитации не может привести к разумной квантовой теории. Слухи о смерти супергравитации сильно преувеличены. То каждый верит, что супергравитация является окончательной теорией. То, уже на следующий год, мода меняется, и каждый говорит, что супергравитация обречена на существование в ней расходимостей, хотя при этом никто их не обнаружил. Вторая причина, по которой я не хочу обсуждать теорию струн, состоит в том, что в ней не сделано проверяемых предсказаний. В противоположность этому непосредственное применение квантовой теории к общей теории относительности, которую я буду обсуждать, уже имеет два проверяемых предсказания. Одно из них — развитие малых возмущений при инфляции, — кажется, подтверждается недавними наблюдениями флуктуаций в микроволновом фоне. Другое предсказание — о том, что черные дыры должны испускать равновесное тепловое излучение, — в принципе проверяемо. Все, что необходимо, — это найти первичную черную дыру. К сожалению, похоже, что в нашем рукаве Галактики их не так уж много. Если бы они были, мы бы сейчас уже знали, как квантовать гравитацию.

Ни одно из этих предсказаний не изменится, даже если окончательной теорией природы является теория струн. К сожалению, теория струн, по крайней мере на нынешнем уровне ее развития, не способна делать такие предсказания, не апеллируя к общей теории относительности как низкоэнергетической эффективной теории. Я подозреваю, однако, что это всегда будет так и что не существует каких-либо наблюдаемых предсказаний в теории струн, которые не могут быть получены с помощью общей теории относительности или супергравитации. Если это так, то возникает вопрос:

является ли теория струн действительно научной теорией? Являются ли математическая красота и полнота достаточными критериями при отсутствии четко проверяемых наблюдаемых предсказаний? При этом следует учитывать, что в настоящий момент теорию струн не назовешь ни красивой, ни полной.

По этим причинам я буду говорить в лекциях только об общей теории относительности. Я сосредоточу внимание на двух областях, в которых гравитация, по-видимому, обладает свойствами, полностью отличающимися от других полевых теорий. Первой является идея о том, что благодаря гравитации пространство-время должно иметь начало, а возможно, и конец. Второе — это открытие того, что, по-видимому, существует внутренняя гравитационная энтропия, не являющаяся результатом крупнозернистой структуры. Некоторые утверждают, что эти предсказания являются только артефактами полуклассического приближения. Они говорят, что струнная теория, истинная квантовая теория гравитации, размажет сингулярности и приведет к корреляциям в излучении черных дыр, так что оно только приближенно является тепловым, в крупнозернистом приближении. Если это так, то это будет довольно скучно. Гравитация будет тогда подобна любому другому полю. Но я убежден, что она существенно отлична от них, потому что гравитация формирует арену, на которой сама действует, в противоположность другим полям, которые действуют в заданном пространстве-времени. Именно это дает возможность времени иметь свое начало. Это также приводит к существованию ненаблюдаемых областей Вселенной, что, в свою очередь, приводит к понятию гравитационной энтропии как меры того, что мы можем не знать.

В данной лекции я дам обзор работ в классической общей теории относительности, которые привели к этим идеям. В моих второй и третьей лекциях (гл. 3 и 5) я покажу, как эти идеи изменяются и расширяются при переходе к



Рис. 1.1. Хронологическое будущее для точки p

квантовой теории. Моя вторая лекция будет посвящена черным дырам, а третья — квантовой космологии.

Решающая для исследования сингулярностей и черных дыр техника, которая была введена Роджером и которую я помогал развивать, состоит в изучении глобальной причинной структуры пространства-времени. Определим $I^+(p)$ как множество всех точек пространства-времени M , которые могут быть достигнуты из точки p времениподобными кривыми, направленными в будущее (рис. 1.1). Можно считать, что $I^+(p)$ — это множество всех событий, на которые может влиять то, что происходит в точке p . Точно такое же определение можно ввести, заменив плюс на минус и будущее на прошлое. Я буду считать такие определения самоочевидными.

Можно рассмотреть границу $I^+(S)$ будущего для множества S . Нетрудно видеть, что эта граница не может быть времениподобной. Действительно, в этом случае точка q , находящаяся вне границы, была бы в будущем точки p , находящейся внутри границы. Граница будущего не может быть также пространственноподобной, исключая множество S само по себе. В этом случае каждая кривая из точки q , лежащая в будущем для границы и направленная в прошлое, будет пересекать границу и покидать будущее для S . Это

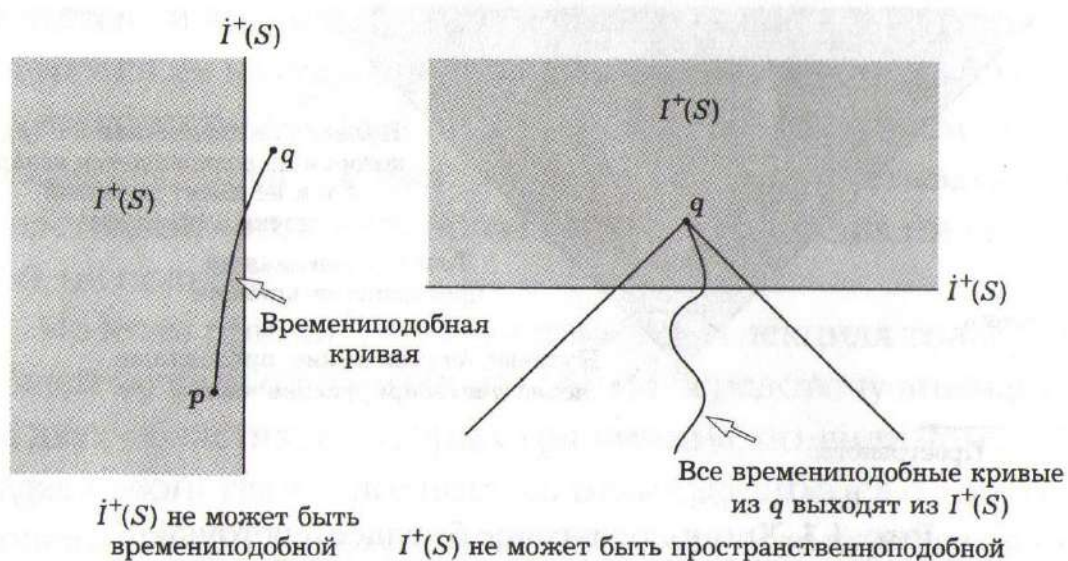


Рис. 1.2. Границы хронологического будущего не могут быть времениподобными или пространственноподобными

противоречит тому факту, что q находится в будущем для S (рис. 1.2).

Следовательно, можно заключить, что граница будущего является нулевой, в отличие от самого множества S . Более точно, если q принадлежит границе будущего, но не замыканию S , существует нулевой геодезический сегмент, направленный в прошлое и лежащий вместе с q на границе (рис. 1.3). Может существовать и более чем один нулевой геодезический сегмент, включающий q и лежащий на границе, но в этом случае q должна быть конечной точкой сегментов в будущем. Иными словами, граница будущего для S порождается нулевыми геодезическими, которые имеют на границе конечную точку в будущем и проходят во внутреннюю область будущего, если они пересекают другую нулевую геодезическую. С другой стороны, нулевые геодезические генераторы могут иметь конечные точки в прошлом только на S . Однако возможно рассматривать пространство-время, в котором существуют генераторы границы будущего множества S , которые никогда не пересекают S . Такие генераторы могут не иметь конечных точек в прошлом.

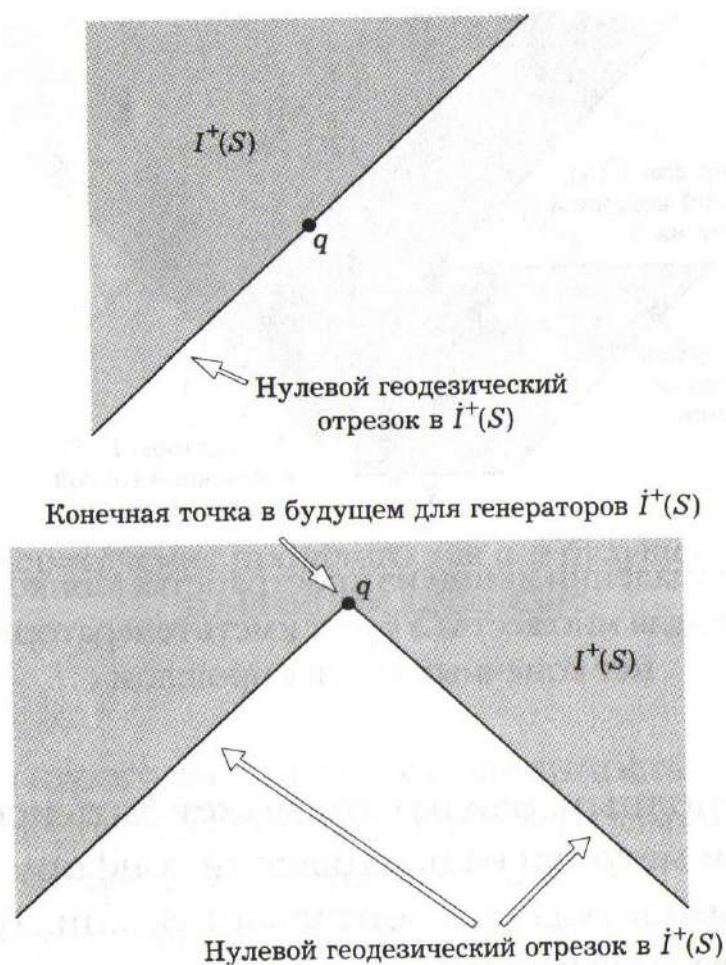


Рис. 1.3. Вверху: точка q лежит на границе будущего, так что существует нулевой геодезический сегмент на границе, который проходит через q . Внизу: если существует больше чем один такой сегмент, точка q будет для них конечной точкой в будущем

Простым примером является пространство Минковского с удаленным куском горизонтальной линии (рис. 1.4). Если множество S лежит в прошлом для горизонтальной линии, линия будет отбрасывать тень, в которой будут находиться точки, являющиеся будущими по отношению к этой линии и отсутствующие в будущем для S . Там должны быть генераторы границы будущего S , которые возвращаются к концу горизонтальной линии. Однако, поскольку конечная точка горизонтальной линии удалена из пространства-времени, генератор границы не может иметь конечных точек в прошлом. Такое пространство-время

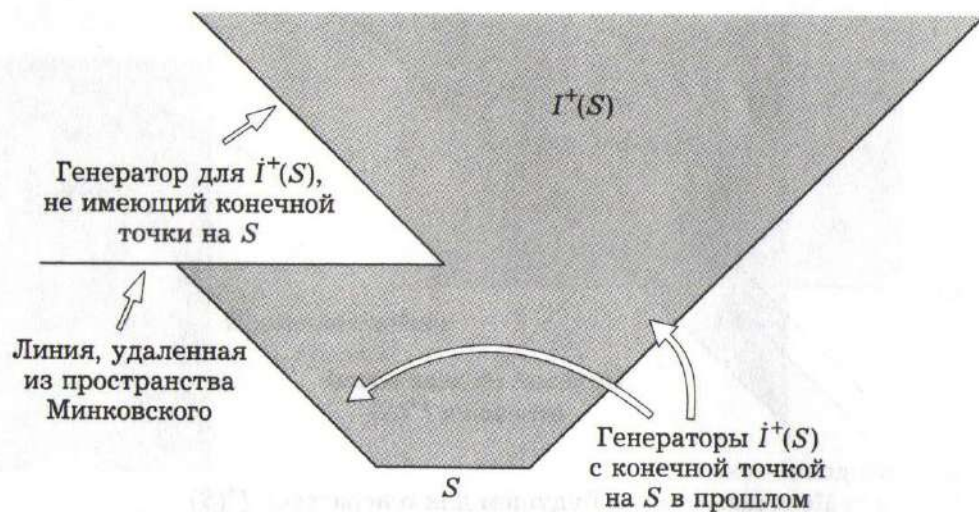


Рис. 1.4. При удалении линии из пространства Минковского граница будущего для множества S будет иметь генератор, у которого нет конечных точек в прошлом

является неполным, однако это может быть исправлено умножением метрики на подходящий конформный множитель вблизи конца горизонтальной линии. Хотя такие пространства выглядят очень искусственно, они важны для демонстрации того, насколько следует быть аккуратным при изучении причинной структуры. Фактически Роджер Пенроуз, который был одним из моих оппонентов при защите диссертации, указал, что пространство, которое я здесь описал, является контрпримером к сделанным в моей диссертации утверждениям.

Чтобы показать, что каждый генератор границы будущего имеет в своем множестве конечную точку в прошлом, следует потребовать выполнения некоторого глобального условия на причинную структуру. Наиболее сильное и физически наиболее важное условие состоит в требовании глобальной гиперболичности. Говорят, что открытое множество U является глобально гиперболическим, если:

1) для любой пары точек p и q в U пересечение будущего для p и прошлого для q имеет компактное замыкание; другими словами, оно ограничено ромбовидной областью (рис. 1.5);

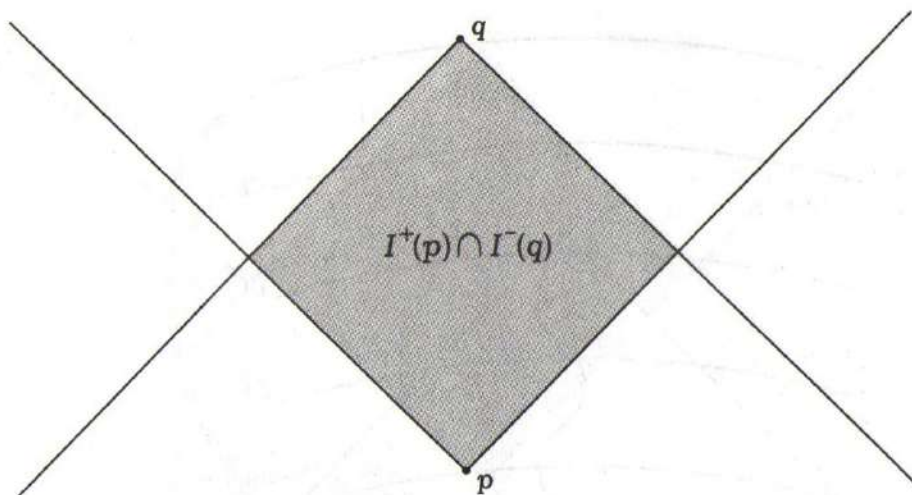


Рис. 1.5. Пересечение прошлого для q и будущего для p имеет компактное замыкание

2) на U строго выполняется причинность; это означает, что не существует замкнутых или почти замкнутых времениподобных кривых, содержащихся в U .

Физическое значение глобальной гиперболичности следует из того факта, что она приводит к существованию семейства поверхностей Коши $\Sigma(t)$ для U (рис. 1.6). Поверхность Коши для U является пространственноподобной или нулевой поверхностью, которая пересекает каждую времениподобную кривую в U один и только один раз. Можно предсказать, что произойдет в U , исходя из данных на поверхности Коши, а также сформулировать квантовую теорию поля с хорошим поведением на глобально гиперболическом фоне. Менее ясно, можно ли сформулировать разумную квантовую теорию поля на неглобальном гиперболическом фоне. Таким образом, глобальная гиперболичность может быть физически необходимой. Однако моя точка зрения состоит в том, что ее не надо предполагать, потому что глобальная гиперболичность может исключить что-то такое, о чем пытается нам сказать гравитация. Скорее, мы должны вывести, что определенные области пространства-времени являются глобально гиперболиче-

Конец ознакомительного фрагмента

Уважаемый читатель!

Размещение полного текста данного произведения
невозможно в связи с ограничениями по IV части ГК РФ

Эту книгу вы можете прочитать
в Оренбургской областной универсальной
научной библиотеке им. Н. К. Крупской
по адресу: г. Оренбург, ул. Советская, 20
тел. для справок: (3532) 77-08-50

