

Стивен Хокинг

Краткая история времени

Это краткий конспект книги Стивена Хокинга, который я написал когда-то. На пяти страницах я постарался отразить основные идеи, изложенные в книге. Надеюсь, что этот текст побудит читателя обратиться к оригиналу.

Книга выдающегося английского физика Стивена Хокинга «Краткая история времени: от большого взрыва до чёрных дыр» посвящена поиску ответа на вопрос Эйнштейна: «Какой выбор был у Бога, когда он создавал Вселенную?» Будучи предупреждённым, что каждая включённая в книгу формула вдвое уменьшит число покупателей, Хокинг доступным языком излагает идеи квантовой теории гравитации — не завершённой пока области физики, объединяющей в себе общую теорию относительности и квантовую механику.

Начинается книга с рассказа об эволюции человеческих представлений о Вселенной: от небесных сфер геоцентрической системы Аристотеля и Птолемея до осознания того факта, что Солнце является обычной жёлтой звездой средней величины в одном из рукавов спиральной галактики — среди сотен миллиардов других галактик в наблюдаемой части Вселенной. Открытие красного смещения спектров звёзд других галактик означало, что Вселенная расширяется, и это привело к гипотезе большого взрыва: десять или двадцать миллиардов лет назад все объекты Вселенной могли находиться в одном месте с бесконечно большой плотностью (точка сингулярности).

Большой взрыв служит началом отсчёта времени. На вопрос о том, что было до большого взрыва, ответа не существует, так как в точке сингулярности перестают работать научные законы; возможность предсказывать будущее теряется, и поэтому если что-то и происходило «до», то оно никак не повлияет на нынешние события. После же большого взрыва возможны два сценария: либо расширение Вселенной будет продолжаться вечно, либо в некоторый момент прекратится и перейдёт в фазу сжатия, которая закончится возвратом в сингулярность — большим хлопком. Какой именно вариант осуществится, неясно — это зависит от

расстояний между галактиками и суммарной массы вещества Вселенной, а эти величины точно не известны.

Сингулярности могут быть во Вселенной и после большого взрыва. Звезда, израсходовав ядерное топливо, начинает сжиматься, и при достаточно большой массе не может противостоять гравитационному коллапсу, превращаясь в чёрную дыру. Так вот, английский математик и физик Роджер Пенроуз показал, что объём звезды при этом стремится к нулю, а плотность её вещества и кривизна пространства-времени — к бесконечности. Иными словами, чёрная дыра есть сингулярность в пространстве-времени¹.

Обратив направление времени, Пенроуз и Хокинг доказали утверждение, что если верна общая теория относительности (ОТО), то точка большого взрыва *должна существовать*. Так гипотеза большого взрыва стала математической теоремой, а сама ОТО оказалась неполной: её законы нарушаются в точке сингулярности. Это не удивительно — ведь ОТО является классической теорией, а в малой области пространства вблизи сингулярности становятся существенными квантовые эффекты. Таким образом, для исследования чёрных дыр и ранней Вселенной требуется привлечение квантовой механики и создание единой теории — квантовой теории гравитации.

Занимаясь явлениями микромира, квантовая механика развивалась независимо от ОТО. В квантовой физике накопился некоторый опыт объединения различных типов взаимодействий. Так, удалось объединить в одну теорию электромагнитные и слабые взаимодействия. Именно, оказалось, что переносчики электромагнитного взаимодействия (виртуальные фотоны) и переносчики слабого взаимодействия (векторные бозоны) являются реализациями одной частицы и становятся неотличимы друг от друга при энергиях около 100 ГэВ. Существуют и теории великого объединения, то есть объединения электрослабого и сильного взаимодействий (правда, для достижения энергий великого объединения и проверки этих теорий нужен ускоритель размером с Солнечную систему).

Все эти теории не включают гравитацию, поскольку она очень мала для элементарных частиц. Однако в точке сингулярности гравитационные силы вместе с кривизной пространства-времени стремятся к бесконечности, так что совместный учёт квантовомеханических и гравитационных эффектов становится неизбежным. Это приводит к следующим удивительным результатам.

¹От парадоксов отказа законов науки в этом случае нас страхует горизонт событий, закрывающий путь информации изнутри чёрной дыры.

По теореме Пенроуза–Хокинга падение в чёрную дыру необратимо. Но, как известно, всякий необратимый процесс сопровождается ростом энтропии. Есть ли энтропия у чёрной дыры?

Хокинг замечает, что площадь горизонта событий чёрной дыры не уменьшается со временем (а при падении вещества в чёрную дыру — увеличивается), то есть обладает всеми свойствами энтропии. Его американский коллега Бикенстин предлагает считать площадь горизонта событий чёрной дыры мерой её энтропии. Хокинг возражает: обладая энтропией, чёрная дыра должна иметь температуру и, следовательно, излучать — вопреки самому определению чёрной дыры! — но впоследствии сам же открывает механизм этого излучения.

Источником излучения оказывается вакуум вблизи чёрной дыры, в котором из-за квантовых флуктуаций энергии рождаются пары частица-античастица. Один из членов пары обладает положительной энергией, другой — отрицательной (так что сумма равна нулю); частица с отрицательной энергией может упасть в чёрную дыру, а частица с положительной энергией — покинуть её окрестность. Поток частиц положительной энергии и есть излучение чёрной дыры; частицы же с отрицательной энергией уменьшают её массу — чёрная дыра «испаряется» и со временем исчезает, унося с собой сингулярность. В этом Хокинг видит первое указание на возможность устранения сингулярностей ОТО с помощью квантовой механики и задаётся вопросом: окажет ли квантовая механика аналогичное воздействие на «большие» сингулярности, то есть *устранит ли квантовая механика сингулярности большого взрыва и большого хлопка?*

Классическая ОТО не оставляет выбора: расширяющаяся Вселенная рождается из сингулярности, причём начальные условия неизвестны (ОТО не работает в «момент творения»). В начальный момент Вселенная могла быть упорядоченной и однородной, а могла быть и весьма хаотичной. Дальнейший процесс эволюции, однако, существенно зависит от условий на этой границе пространства-времени. Используя метод Фейнмана суммирования по различным «траекториям» развития Вселенной, Хокинг в рамках квантовой теории гравитации получает альтернативу сингулярности: пространство-время является конечным и не имеет сингулярности в виде границы или края (это похоже на поверхность Земли, но только в четырёх измерениях). А раз нет границы, отпадает и необходимость в начальных условиях на ней, то есть нет нужды вводить новые законы, задающие поведение ранней Вселенной (или прибегать к помощи Бога). Тогда Вселенная «... не была бы сотворена, её нельзя было бы уничтожить. Она просто *существовала бы*».

Тема Бога присутствует на протяжении всей книги; по сути, Хокинг

ведёт дискуссию с Богом. Приведём цитату, подводящую своего рода итог этой дискуссии.

«Из представления о том, что пространство и время образуют замкнутую поверхность, вытекают также очень важные следствия относительно роли Бога в жизни Вселенной. В связи с успехами, достигнутыми научными теориями в описании событий, большинство учёных пришло к убеждению, что Бог позволяет Вселенной развиваться в соответствии с определённой системой законов и не вмешивается в её развитие, не нарушает эти законы. Но законы ничего не говорят нам о том, как выглядела Вселенная, когда она только возникла, — завести часы и выбрать начало всё-таки могло быть делом Бога. Пока мы считаем, что у Вселенной было начало, мы можем думать, что у неё был Создатель. Если же Вселенная действительно полностью замкнута и не имеет ни границ, ни краёв, то тогда у неё не должно быть ни начала, ни конца: она просто есть, и всё! Остаётся ли тогда место для Создателя?»

Вот и ответ на вопрос Эйнштейна: никакой свободы выбора начальных условий у Бога не было.

Выполняя суммирование по фейнмановским траекториям при условии отсутствия границ пространства-времени, Хокинг находит, что Вселенная в её нынешнем состоянии с высокой вероятностью должна расширяться одинаково быстро по всем направлениям — в согласии с наблюдениями изотропного фона реликтового микроволнового излучения. Далее, раз начало отсчёта времени есть гладкая, регулярная точка пространства и времени, то Вселенная начала эволюцию из однородного, упорядоченного состояния². Эта начальная упорядоченность объясняет наличие термодинамической стрелы времени, указывающей то направление времени, в котором возрастает беспорядок (энтропия) Вселенной³.

В заключительной части книги Хокинг описывает теорию струн, претендующую на объединение всей физики. Эта теория имеет дело не с частицами, а с объектами наподобие одномерных струн. Частицы трактуются как колебания струн, испускание и поглощение частиц — как

²Конечно, полная однородность невозможна. В силу принципа неопределённости были некоторые флуктуации плотности частиц; эти флуктуации и привели затем к возникновению галактик и живых существ вроде нас.

³Хокинг, кстати, рассматривает ещё две стрелы времени: психологическую (направление времени, в котором мы помним прошлое, но не будущее) и космологическую (направление времени, в котором Вселенная расширяется) и даёт объяснение, почему все три стрелы времени направлены одинаково.

разрыв и соединение струн. Струнная теория, однако, не ведёт к противоречиям лишь в 10-мерном или 26-мерном пространствах. Возможно, в ходе развития Вселенной «развернулись» только четыре координаты нашего пространства-времени, остальные же оказались свёрнутыми в пространство ничтожно малых размеров.

Почему так произошло? Хокинг даёт ответ с позиций так называемого антропного принципа: иначе не возникли бы условия для развития разумных существ, способных задать подобный вопрос. В самом деле, в случае меньшей размерности пространства затруднена эволюция: так, всякий сквозной проход в теле двумерного существа делит его на две части. В пространствах же большей размерности иным будет закон гравитационного притяжения, и орбиты планет станут неустойчивыми («мы бы тогда либо замёрзли, либо сгорели»). Конечно, допустимы и другие вселенные, с другим количеством развернувшихся координат, «... но в подобных областях не будет разумных существ, которые могли бы увидеть это разнообразие действующих измерений».

Хокинг с оптимизмом смотрит на перспективы создания единой теории, описывающей Вселенную. Отняв у Бога акт творения, он отводит Богу роль творца её законов. Когда будет построена математическая модель, останется вопрос, почему Вселенная, подчиняющаяся этой модели, вообще существует. Не связанные необходимостью строить новые теории, учёные обратятся к его исследованию. «И если будет найден ответ на такой вопрос, это будет полным триумфом человеческого разума, ибо тогда нам станет понятен замысел Бога».