

Карпенко Иван Александрович,
факультет философии НИУ ВШЭ, к.филос.н, доцент.

Ivan A. Karpenko, PhD, Associate Professor.
Faculty of Philosophy of National Research University
'Higher School of Economics'

Ключевые слова: история и философия науки, пространство, физика

history and philosophy of science, space, physics

Аннотация

Анализируются отдельные аспекты трансформации идей о понятии и свойствах пространства в исторической перспективе. Делаются частные выводы о развитии этих идей в контексте современной науки.

Several aspects of the transformation of ideas about the concept of space and its properties are being analyzed through a historical perspective. The research results in the particular conclusions on these ideas development in the context of modern science.

Развитие некоторых представлений о пространстве от науки Нового времени до современности

Development of Several Concepts of Space From Early Modern Period Science to Modernity

В настоящей работе внимание акцентируется на научных представлениях Нового времени, и отсылки к более ранним представлениям совершаются лишь постольку, поскольку это необходимо для указания очевидной преемственности или оспаривания соответствующих концепций. В качестве главного предмета исследования выбрана идея физического пространства, точнее, её развитие. «Научная революция» XVII-XVIII вв. утвердила новые принципы научности (и очертила границы научного в противовес спекулятивному), которые можно считать во многом актуальными и сегодня (впрочем, есть и иные точки зрения на проблему научного поиска, в этой связи см., например, работы Пенроуза [Penrose, 1991] и [Penrose, 2004]). Но представляется бесспорной ключевая роль в прогрессе научного познания именно этого исторического периода, чем и обусловлен его выбор для исследования. Будет показано, что те выводы о свойствах пространства, которые казались неоспоримыми на протяжении столетий, внезапно перестают быть таковыми. Фактически это обусловлено другой «научной революцией», начавшейся на рубеже XIX-XX вв., в ходе которой произошёл отказ от старых аксиом физики (таких, например, как существование «эфира»¹) и формулировка новых (теория относительности и квантовая механика).

В анализе первой из названных научных революций данное исследование во многом опирается на работу А. Койре, проделавшего тщательный анализ воззрений того времени. Его выводы по истории и философии науки остаются актуальными и сегодня, тем самым делая излишним здесь подробный разбор первоисточников.

Среди тех, кто совершал научную революцию, утвердившую новый тип представлений о пространстве, Александр Койре в работе «От замкнутого мира к

¹ Интересно, что в физике второй половины XX века снова появляется сюжеты, в каком-то смысле возвращающие идею эфира (разумеется, не буквально, а как некоей необходимой среды) – например, океан Хиггса.

бесконечной вселенной» выделяет нескольких, на его взгляд, внёсших наибольший вклад, мыслителей. Это (в порядке упоминания автором) Николай Кузанский, Марчелло Палингениус, Николай Коперник, Томас Диггс, Джордано Бруно, Уильям Гилберт, Иоганн Кеплер, Галилео Галилей, Рене Декарт, Генри Мор, Николя Мальбранш, Ричард Бентли, Исаак Ньютон, Джозеф Рафсон, Джордж Беркли, Готфрид Лейбниц.

Обозначим в общих чертах идеи некоторых из них, чтобы впоследствии обнаружить развитие этих идей (а так же оспаривание, опровержение или подтверждение) в науке XX века, а точнее – в научной физической картине мира, пришедшей на смену механицизму Ньютона.

Несомненно, Николай Коперник внёс важнейший вклад в формирование представлений о вселенной, как о бесконечной, и, возможно, сам того не желая, приступил к разрушению Космоса средних веков. Хотя мир, модель которого предлагает Коперник, как раз конечен (и на этом настаивает Койре: «...нигде Коперник не говорит нам, что видимый мир, мир неподвижных звёзд бесконечен. Он лишь указывает, что мир этот не поддаётся измерению...» [Койре, 2001, с. 24]). Система Коперника гелиоцентрическая – в центре располагается Солнце, вокруг него планеты и сфера неподвижных звёзд. Напомним, что в системе Аристотеля звезды двигались (по кругу), а раз есть конечное расстояние, которое могут пройти звёзды, значит, как утверждал Аристотель, мир никак не бесконечен. Но у Коперника сфера звёзд неподвижна, тогда возникает вопрос: зачем вообще нужна эта сфера, чем обосновано её существование? Быть может, небо со звёздами простирается ввысь бесконечно далеко? Однако сам Коперник не решается перейти от мысли о конечной вселенной к мысли о бесконечной. Мир Коперника так велик, что не поддаётся измерению, он необозрим, но тем не менее, конечен. Хотя эта «неизмеримость» в принципе и может трактоваться как основание для бесконечности. С другой стороны, надо понимать, что в мире Коперника есть центр – это Солнце. А бесконечность, в которой есть центр, то есть некая выделенная точка, от которой пространство простирается на равные расстояния – нонсенс. Но заслуга Коперника на пути формирования образа бесконечной вселенной бесспорна: «...психологически легче перейти к идее бесконечной вселенной от идеи неизмеримо большой и всё время расширяющейся вселенной ... совершённое Коперником преобразование (или революция) в астрономии устранило один из наиболее серьёзных научных аргументов против идеи бесконечной вселенной, основывавшийся на эмпирически очевидном, соответствовавшем позиции здравого смысла, факте движения небесных сфер» [Там же, с. 26-27].

Более решительный переход к бесконечной модели мира осуществил Джордано Бруно. Интересно, что признавая заслуги Бруно, Койре сообщает, что не считает мыслителя эпохи Возрождения ни хорошим философом, ни учёным, и утверждает, что своих идейных учителей (Лукреция Кара и Николая Кузанского) тот понял неправильно. Тем не менее, Бруно первый, кто предложил идею бесконечной вселенной, не имеющей центра, с бесконечным множеством миров (как выразился Койре, мир Бруно «бесконечно бесконечный» [Там же, с. 31]). Сам Бруно высказывается вполне ясно: «...уверен, что ... все профессора при всей своей учёности не смогут отыскать сколько-нибудь вероятного довода, по которому существовал бы предел этому телесному миру и по которому, следовательно, так же и звёзды, находящиеся в пространстве, имелись бы в определённом числе» [Бруно, 1949, с. 107-108].

Бруно утверждает бесконечную вселенную, но не пустую, а изобильную, в которой есть, грубо выражаясь, всё, в том числе бесконечное число других населённых миров. К подобным следствиям приводит фактически отрицание ограничивающей сферы Коперника (которая уже в системе самого Коперника выглядит откровенно ненужной).

Иоганн Кеплер возвращается (точнее, не возвращается, а остаётся) к идее конечной вселенной. Это, как отмечает Койре, в значительной мере обусловлено его религиозными воззрениями. Для него проявление Бога в мире – это наличие в нём порядка и гармонии, а

«порядок и гармония не могут быть найдены в бесконечном и потому не имеющим ни формы, ни образа...» [Койре, 2001, с. 49]. Но более важны другие основания Кеплера для принятия им конечной модели мира, имеющие уже скорее научный характер. Кеплер эмпирик, для него наука – астрономия – должна согласовываться с опытом, с наблюдаемой реальностью: именно такой, кокой она является нашим органам чувств (зрению). Таким образом, с этой точки зрения, нет смысла измышлять гипотезы, которые не соотносятся с фактами, с нашими возможностями наблюдения. «... астрономия тесно связана со зрением, т.е. с оптикой. Она не может допускать вещи, противоречащие законам оптики» [Там же, с. 52]. Следовательно, антинаучно допускать существование бесконечности, раз уж проверить это не представляется возможным.

Ещё одно направление аргументации Кеплера против бесконечности касается структуры мира: если мир бесконечен, то у него нет определённой структуры и он везде однороден и отовсюду выглядит одинаково, а это не так, говорит Кеплер, с Земли мир выглядит по-особенному, значит это уникальная, выделенная точка и мир не может быть бесконечным. То есть в данном случае аргументация Кеплера в корне неверна, но она основана на оптической иллюзии видимого размера звёзд – характерного заблуждения той эпохи.

Среди возражений, выдвигаемых Кеплером против бесконечности пространства (однородно заполненного звёздами) заслуживает внимания следующее. Не может быть бесконечно удалённой звезды от какой-либо точки, например, от нашего Солнца. В самом деле, между любыми двумя точками существует конечное расстояние, а, значит, звёзды, бесконечно удалённые от других звёзд невозможны, и пространство конечно. Кеплер подводит такие итоги: «... мы называем бесконечным то, что не имеет пределов и конца, а следовательно – и измерений. Таким образом, любое число вещей актуально конечно, по той уже причине, что оно число... [Там же, с. 73]. Речь идёт о том, что раз не может быть бесконечно удалённых звёзд, то их число конечно, а из конечного нельзя составить бесконечное, имеющее размеры (и размерности).

И далее у Кеплера: «Пространство существует благодаря телам; не было бы тел, не было и пространства. И если Бог разрушит мир, после него не останется никакого пустого пространства. А будет просто ничто, как было ничто до того, как Бог создал мир» [Там же, с. 74]. Здесь важно, что с точки зрения Кеплера пространство не существует, как таковое, есть только тела, а пространство – это, по сути, их свойство, размерность тел.

Шаг вперёд сделал Галилей с помощью принципиального нового орудия познания – телескопа. Он получил возможность расширить границы видимого, а, следовательно, доступного научному обсуждению. Наблюдаемая Вселенная оказалась намного богаче, больше и разнообразнее, чем учёные могли до этого предположить. Тем не менее, на вопрос о том, конечна вселенная или бесконечна, Галилей ясного ответа не дал. Вернее, он уклонялся от ответа, возможно, по двум причинам: во-первых, из-за соображений безопасности в виду угрозы преследования церковью, во-вторых, благодаря чисто научным причинам, схожим с основаниями Кеплера: какой смысл говорить о том, что в принципе не может быть нам известно? Но важно иметь в виду, что, как отмечает Койре, «... в согласии с Николаем Кузанским и Джордано Бруно, Галилей отбрасывает идею существования центра вселенной...» [Там же, 82]. А отсюда один шаг до признания бесконечности: если нигде нет центра мира, значит, мир простирается бесконечно далеко. Однако сам Галилей такого вывода не делает. Он говорит только: «Ни вы, ни кто-либо другой нигде не доказали, ни что мир конечен и обладает размерами, ни что он бесконечен и не имеет предела» [Там же, с. 83]

Вновь к идее бесконечности, после Кузанского и Бруно, возвращается уже Рене Декарт. Декарт отождествляет материю и пространство, т.е., нет такого пустого места, которое занимали бы тела, и которое высвободилась бы, когда они его покидают. Иначе говоря, не существует пустота. Декарт вполне убедительно это доказывает, рассуждая о том, что у пустоты (ничто) не может быть никаких измерений, поэтому говорить о

километрах пустого пространства, отделяющих одни тела от других не имеет смысла. Тела разделённые ничем, фактически не разделены. Таким образом, существует лишь материя, но различающаяся качественно (вспомним Кеплера, который утверждал, что пространство свойство тел). Но из этого (отождествления протяжённости и материи) следует признание бесконечности пространства. Так как «мы не в состоянии полагать предел, не преодолевая его самим этим полаганием» [Там же, с. 89]. Речь идёт о том, что мы не в состоянии признавать границу вселенной, предел материи, поскольку кроме материи ничего нет (пустоты нет). Значит, материя должна продлеваться бесконечно. Правда, и это немаловажно, Декарт принципиально избегает термина «бесконечность» в определении мира, и предпочитает «беспредельность». Эта уловка носит теологический характер – бесконечен у Декарта один лишь Бог (это вполне объясняется той ролью, которую отводит Декарт идеи Бога в постижении его человеком). Но отсюда против желания Декарта вытекает интересное следствие: раз мир материален, а Бог нет, то Богу как бы нет уже места в этом мире, становящимся тем самым чисто научным, математическим, геометрическим. Это важный шаг в формировании научных астрономических представлений: «между Богом и миром не существует аналогии» [Там же, с. 85].

Другим важным следствием теории Декарта является представление об однородности вселенной. «Отсюда нетрудно заключить, что земля и небеса созданы из одной и той же материи; и даже если бы миров было бесконечное множество, то они необходимо состояли бы из этой же материи...» [Там же, с. 90] Из этого он делает неожиданный вывод, что, стало быть, миров не может быть много.

Исаак Ньютон – профессиональный учёный, и он ни в коем случае не философ, и не мистик (хотя это не мешает ему оставаться глубоко верующим человеком и настойчиво вписывать Бога в свою картину мира). Для него, в отличие от Декарта, пространство и время – абсолютны, т.е., они имеют свою собственную природу и существуют как бы независимо от мира, от тел, расположенных в нём. По поводу пространства Ньютон говорит: «Абсолютное пространство по своей природе безотносительно чего бы то ни было внешнего всегда остаётся одинаковым и подвижным» [Там же, с. 143]; по поводу времени аналогичное: «Абсолютное, истинное и математическое время само из себя и по своей природе течёт равномерно и безотносительно к чему-либо внешнему» [Там же, с. 142].

Таким образом, пространство есть «место», в котором тела находятся и которое они могут покинуть (то, что отрицал Декарт – в его концепции нет пустых «мест», которые можно было бы занять, потому что всё и так уже занято – материей). Пространство Ньютона содержит материю, состоящую из бесконечно малых частиц (атомы), которые разделяет пустота (вакуум). По поводу этих частиц Ньютона одолевают некие знаменательные сомнения: «Не обладают ли малые частицы тел некоторыми энергиями, мощностями, или силами, благодаря которым они действуют на расстоянии не только на лучи света, чтобы отражать, преломлять и отклонять их, но так же и друг на друга, чтобы породить огромную долю явлений природы?» [Там же, с. 185]». Хотя допущение, что это могли бы быть не частицы, а, скажем, струны, мембраны, и прочие браны (разумеется, у него нет этих терминов), он отрицает, доказывая, что жидкости в противном случае не затвердевали бы. Но сомнения у него остаются, он не может понять как мельчайшие частицы, за счёт чего, держатся друг друга и почему материя не распадается на атомы [Там же, с. 188].

Как хорошо известно, Ньютон дал математическое описание тяготения, но он «... не верил в притяжение, как в реальную, физическую силу» [Там же, с.156]. Он отказывался признавать, что тяготение – это свойства тел, которые притягиваются и предпочитал предполагать, что существует некая внешняя сила (скорее всего божественная), заставляющая тела притягиваться. Ньютон систематически уходит от провокационных споров о природе тяготения, он признается, что она ему неизвестна и

этого довольно: главное, что он сумел дать её математическое описание, т.е., взять закон природы и сопоставить ему закон науки. А почему закон именно таков и какова его природа – об этом можно только гадать. Фактически, Койре делает следующий вывод, вкладывая его в уста Ньютона: «...обратно-квадратичный закон всемирного тяготения, действующий закон этого мира, ни в коем случае не был единственно возможным – хотя и был самым удобным, – и что Бог, если бы он того захотел, мог бы принять и другой» [Там же, с. 195]. Как мы увидим, вывод этот, в общем, хорошо согласуется с некоторыми современными физическими представлениями.

В вопросе о статусе абсолютного пространства Ньютон однозначно принимает его бесконечность. Мир бесконечен, и состоит из материи и пустоты, это некий точный механизм, который заводит Бог, а поскольку это абсолютный безотносительный механизм – наука способна давать абсолютно точные предсказания о будущем, пользуясь математическим аппаратом и средствами наблюдения. Проще говоря, можно указать положение и массу (энергию) атома в любой временной точке будущего, если мы точно знаем все начальные условия.

Фактически до XX века (с некоторыми, конечно, оговорками) теория Ньютона, главенствовала и в своих основных положениях не подвергалась сомнению. Однако с появлением работ Планка, Эйнштейна, Бора, Гейзенберга, Шрёдингера и ряда других физиков ситуация резко изменилась. Основное изменение заключалось в том, что пространство и время, абсолютные у Ньютона, оказались относительными. Та же судьба фундаментального переосмысления постигла и гравитацию. Если у Ньютона это некая сила, мистического происхождения, мгновенно (!) распространяющаяся в пространстве, то у Эйнштейна «это не обычная сила, а следствие того, что пространство-время не является плоским, как считалось раньше, оно искривлено распределёнными в нём массой и энергией» [Хоккинг, 2009, с. 45]. Иначе говоря, тела движутся по искривлённым орбитам не вследствие действия особой силы, а потому что пространство искривлённо массами расположенных в нём тел, таким образом, линии в искривлённом пространстве соответствуют линиям в прямом (евклидовом) пространстве (геодезические линии). Что касается устройства Вселенной как механизма, в котором можно предсказать её будущее состояние в любых деталях, зная начальные условия, то и это оказалось неверным. Как показал один из основоположников квантовой механики, Вернер Гейзенберг, существует принципиальная неопределённость положения и скорости частицы в настоящий момент. Иначе говоря, их невозможно одновременно измерить. Таким образом, вселенная из полностью определённой и ясной превращается в вероятностную, когда точное предсказание становится принципиально невозможным (многообразие квантово-механических концепций и следствий для картины вселенной см., например, в [Wheeler and Zurek, 1983]).

Особо стоит остановиться на природе и свойствах гравитации. «В теории тяготения Ньютона одно тело притягивает другое с силой, которая зависит только от масс этих тел и расстояния между ними. ... Это означает, что если их массы или расстояния между ними изменятся, то тела, согласно Ньютону, немедленно почувствуют изменения взаимного гравитационного притяжения» [Грин, 2004, с. 44]. А это приходит в противоречие со специальной теорией относительности Эйнштейна, в которой утверждается, что никакое взаимодействие (никакая информация) не может быть передано быстрее скорости света. Таким образом, гравитационное изменение распространяется в лучшем случае со скоростью света. Более того, оказалось, что ускорение и тяготение взаимозаменяемы, иначе говоря, движение с ускорением аналогично действию гравитации. Вспомним в этой связи, что Ньютон полагал ускорение абсолютным, т.е., на примере кругового движения, он показал, что это движение ускоренное, и абсолютное в том смысле, что оно безотносительно какого-либо другого движения. Теперь же Эйнштейн уравнивает тяготение и ускоренное движение (которое у него относительно, как любое движение вообще). По этому поводу один из ведущих современных специалистов в области теории

струн Брайан Грин высказался следующим эмоциональным образом: «Осознание глубокой связи между гравитацией и ускоренным движением представляет собой главное озарение, снизошедшее на Эйнштейна в один счастливый день в патентном Бюро Берна» [Там же, с. 47]. Впоследствии было экспериментально подтверждено, что модель гравитации Эйнштейна более точно описывает наблюдаемую реальность, и Ньютон, несмотря на крайне высокую точность экспериментальных подтверждений, предложил неверную теорию. Ошибка, повторимся, в том, что гравитационное взаимодействие распространяется не мгновенно.

Ньютон полагал, что мир состоит из мельчайших твёрдых частиц атомов. Современная теория суперструн (созданная с целью объединения квантовой механики и общей теории относительности) поставила это под сомнение, предположив, что основные «кирпичики» мироздания – это одномерные струны, моды колебаний которых задают существующие свойства вселенной, законы физики (которые, в принципе, могут быть и совершенно другими). Помимо одномерных струн допускается существования и более сложных фундаментальных объектов (браны различной размерности и формы) [Там же, с. 95-127]. Одним из важных (и крайне сложных для адекватного понимания) следствием такого отказа от привычных атомов является возникновение дополнительных пространственных измерений. То есть, к привычным трём добавляются ещё шесть (но свёрнутых до ненаблюдаемого размера), плюс одно временное, таким образом, мир теории суперструн предстаёт десятимерным [Там же, с. 127-143]. Впрочем, есть варианты вселенных с другими комбинациями, вплоть до введения нескольких временных измерений или вообще отказа от каких-либо измерений. Правда, отказ от «твёрдых частиц» Ньютона произошёл значительно раньше гипотез теории суперструн: в стандартной модели физики элементарных частиц частицы нульмерны, т.е., это точечные частицы, фактически не имеющие реальных размеров (в частности из-за этого стандартная модель не может включать гравитационное взаимодействие) [Там же, с. 95-96].

Что касается спора Декарта и Ньютона о пустом пространстве – возможна ли пустота? Декарт отказывается от пустоты, Ньютон утверждает существование вакуума. В этой связи показательно, что в некоторых современных моделях вселенной постулируется существование так называемого «ложного вакуума». В соответствии с теорией Большого взрыва вселенная расширяется. Но почему это случилось? Почему началось (и продолжается) раздувание Вселенной? (Интересно, что Лейбниц допускал божественное начало вселенной [Койре, 2001, с. 234], не допуская её конечности; для Ньютона так же начало вселенной – это сотворение её Богом, но уже в готовом, статичном виде). Алан Гут «...выдвинул идею, согласно которой за раздувание Вселенной отвечает отталкивающая гравитация. Он предположил, что ранняя Вселенная содержала очень необычную материю, которая порождала мощные силы гравитационного отталкивания» [Виленкин, 2011, с. 69]. «Ложный вакуум» и есть то, сверхэнергетическое состояние, которое обеспечивает отталкивание (энергию вакуума предлагал ещё Эйнштейн). Существуют различные виды вакуума, мы, например, живём в так называемом «истинном вакууме» – самом низкоэнергетичном. Различных видов вакуума может быть много, и в каждом из них разные свойства элементарных частиц и различные состояния взаимодействий. Ложный вакуум, это вакуум с самой высокой энергией, но он не стабилен и быстро распадается. Согласно теории инфляции начальное состояние вселенной – это состояние ложного вакуума. Он быстро раздувается, распадается, и этот момент распада соответствует Большому взрыву (который, возможно, продолжается и сейчас на окраинах вселенной).

Американский физик Алекс Виленкин, работавший с Аланом Гутом, предлагает теорию вечной инфляции, в которой инфляция никогда не заканчивается и постоянно возникают новые области вселенной или даже новые «островные» вселенные, и процесс этот бесконечен. «...Нам уже не надо считать Большой взрыв одномоментным событием в нашем прошлом. Множество таких взрывов отгремело до него в отдалённых частях

Вселенной, и бессчётное число других ещё произойдёт повсюду в будущем» [Там же, с. 112]. В этой теории можно наблюдать интересный возврат к идеям Кузанского и Бруно с их бесконечными вселенными, состоящими из миров, где в соответствии с принципом полноты, на который опирается в особенности Бруно, должны быть реализованы все возможные миры. Мир вечной инфляции не обязательно бесконечен, но это постоянный акт творения, в котором с необходимостью создаётся всё многообразие возможного, все вероятные комбинации элементарных частиц. Это в известной степени согласуется с принципом достаточного основания, на котором настаивал Лейбниц: если нет разумных причин для того, что нечто не было реализовано, значит это должно быть реализовано. Значит, раз наш мир создан таким, какой он есть, следовательно, он самый лучший и совершенный. Проблема, правда, в том, что мы видим лишь незначительную часть мира (ойкумену), а существуют регионы (и возможно даже другие вселенные, в которые, в силу принципиальных ограничений, накладываемых физикой) мы никогда не сможем заглянуть. Впрочем, Лейбниц в своё время потерпел полное поражение от Ньютона, особенно в споре о свойствах пространства и времени: абсолютны они или относительны. Но Грин, резюмируя рассмотрение самых современных физических теорий, делает вывод: «Несмотря на то, что точка зрения Ньютона, поддержанная его тремя экспериментально проверенными законами движения, господствовала в течение более двух сотен лет, концепция Лейбница, развития австрийским физиком Эрнстом Махом, гораздо ближе к современной картине» [Грин, 2004, с. 243].

Бесконечность вселенной, как показал Койре, была безоговорочно утверждена в науке и философии XVIII века (и на века), но современная физика далека от такой однозначности, особенно там, где предполагается явное начало – момент возникновения вселенной. Впрочем, это вопрос до конца не прояснённый – что считать началом? И где оно было? Что было до начала? И можно ли вообще говорить о чем-либо существующем до начала времени? Виленкин предложил теорию возникновения бесконечного многообразия вселенных из ничего: он показал, что для начала вечной инфляции достаточно лишь квантового туннелирования. Но даже в этих случаях «большая» вселенная, содержащая все бесконечные островные вселенные, может быть замкнутой и конечной» [Виленкин, 2011, с. 136]. Фактически, на сегодняшний день существуют три главных претендента на адекватную модель вселенной: сферическая (конечная и безграничная), плоская, как конечная, так и бесконечная, и вселенная с отрицательной кривизной (которая так же может быть конечной либо бесконечной) [см. например, Greene, 2004]. При этом детали даже в рамках одной модели могут существенно различаться: возможно, что теория осциллирующей вселенной окажется верной, но есть шансы и у таких экстравагантных (впрочем, в последнее время переставших быть экстравагантными) теорий, как теория вселенной на бране или концепции параллельных вселенных.

Примечания

- [Бруно, 1949] *Бруно, Д.* Пир на пепле. Диалоги [Текст] / Д. Бруно. М.: Политгиз, 1949.
- [Виленкин, 2011] *Виленкин, А.* Мир многих миров. Физики в поисках иных вселенных [Текст] / А. Виленкин. М.: Астрель, 2011.
- [Грин, 2004] *Грин, Б.* Элегантная вселенная [Текст] / Б. Грин. М.: УРСС, 2004.
- [Койре, 2001] *Койре, А.* От замкнутого мира к бесконечной вселенной [Текст] / А. Койре. М.: Логос, 2001.
- [Хоккинг, 2009] *Хоккинг, С.* Краткая история времени [Текст] / С. Хоккинг. М.: Амфора, 2009.
- [Greene, 2004] *Greene, B.* The Fabric of The Cosmos. Space, Time, and The Texture of Reality [Text] / B. Greene. N.Y., 2004.

- [Penrose, 1991] *Penrose, R.* The Emperor`s New Mind: Concerning Computers, Minds, and The Laws of Physics [Text] / R. Penrose. N.Y., 1991.
- [Penrose, 2004] *Penrose, R.* The Road to Reality. A Complete Guide to the Laws of the Universe [Text] / R. Penrose. L., 2004.
- [Wheeler and Zurek, 1983] *Wheeler, J. A., Zurek, W. H.* (ed.). Quantum theory and measurement [Text] / J. A. Wheeler and W. H. Zurek. Princeton, 1983.