

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ*

А.Ю. Сторожук

Цель исследования, результаты которого отражены в статье, – выявление методологических оснований стандартной космологической модели. Это позволит установить природу связи между космологией и физикой и прогнозировать общее направление развития космологических представлений.

Ключевые слова: методологический принцип, космология, объединение, пространство

Современная космология очень тесно связана с физикой. Эта связь прослеживается как в области теоретических оснований, так и в области эмпирических данных. Ядром теоретической основы космологических моделей является общая теория относительности. С нею был связан ранний период развития космологии в XX в., поскольку именно в рамках ОТО были найдены нестационарные модели эволюции Вселенной – так называемые модели Фридмана. Во всех трех моделях Фридмана в качестве исходной точки эволюции принималось особое сингулярное состояние с высокими значениями плотности и энергии, локализованными в очень малой области пространства. Микроскопический размер этой области потребовал привлечения также и других физических теорий, связанных с физикой плазмы и квантовой теорией поля. Необходимость совместного применения различных физических теорий для изучения сингулярных областей, предсказываемых в рамках космологии, особенно заострила проблему объединения в физике. Помимо начального состояния Вселенной в качестве сингулярностей, требующих совместного применения ОТО и квантовых теорий, выступают и черные дыры. Образование этих объектов высокой плотности, локализованной в малой пространственной области, предсказано как

* Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ научного проекта № 13-23-01015.

© Сторожук А.Ю., 2013

один из этапов эволюции массивных звезд, чьи массы превосходят две–три массы Солнца – так называемый предел Оппенгеймера – Волкова.

В области эмпирических данных связь космологии и физики обеспечивается на инструментальном уровне, поскольку все приборы, используемые для астрономических наблюдений, создаются на основе физических исследований. Это было справедливо для оптических телескопов и остается таковым для установок, подобных нейтринным детекторам. Современная наблюдательная астрономия стала в буквальном смысле всеволновой, что обеспечивается применением физических теорий в качестве инструментальных.

Возможность применения физических приборов для исследования космоса предполагает универсальность причинных взаимодействий. Также приборные исследования требуют принятия основного космологического постулата об однородности и изотропности Вселенной на больших масштабах, т.е. принципов симметрии.

Эти три методологических принципа – унификации, причинности и симметрии космология унаследовала от физики и придала им свой смысл. Космологические исследования позволили уточнить содержание этих принципов, что, в свою очередь, поставило новые проблемы, стимулирующие развитие и собственно физики. Рассмотрим, как воплощались перечисленные методологические принципы в космологии.

Некоторые определения

Выявление основных методологических принципов космологии позволит понять основной вектор развития космологических теорий и оценить степень согласованности космологических представлений с основным корпусом физического знания о мире. Методологической основой космологических исследований служат принципы унификации, причинности и симметрии, которые находят в них новое воплощение. Хотя физика является основой космологии, собственно космологические исследования дали возможность получить новые данные, требующие пересмотра и некоторых физических представлений.

Под методологическим принципом понимается теоретическое выражение метода, «совокупность требований и положений применительно к теоретической или практической деятельности» [1], имеющих нормативный характер. «Принцип формируется на основе процесса конкретно-научного познания, выступая его итогом, квинтэссенцией познавательной практики и регулятивом этой практики, что возможно

постольку, поскольку само содержание принципа определяется и специфицируется (через теорию) онтологией. Но тем самым специфицируется и его функционирование. С другой стороны, любой методологический принцип связан по своей природе также с мировоззрением, с философскими взглядами и предпочтениями исследователя» [2].

Принцип унификации выражает стремление построить единую теорию для описания реальности и дать единообразные объяснения явлений. Онтологическая предпосылка данного принципа – вера в материальное единство мира, в то, что в природе нет взаимодействующих объектов [3]. Эпистемологическая предпосылка – вера в познаваемость мира. Единый познаваемый мир должен позволять единообразное описание.

«Симметрия подразумевает наличие в объектах и явлениях неизменного, инвариантного по отношению к некоторым преобразованиям» [4]. Принципы симметрии определяют, в частности, связь пространственно-временных характеристик с законами сохранения, обеспечивая сущностное единство материи и пространства-времени. Принципы симметрии обуславливают возможность применения единых законов к разным областям пространства (трансляционная симметрия, связанная с однородностью пространства), независимость вида законов природы от направления (вращательная симметрия, связанная с изотропностью пространства) и от выбора начала отсчета времени (однородность времени, связанная с действием закона сохранения энергии). Универсальность действия законов и независимость их вида от локализации и направления равномерного движения в пространстве обеспечивает универсальность действия причинности.

Симметрия может пониматься и более широко. «Первоначальный смысл симметрии – это соразмерность, сходство, подобие, порядок, ритм, согласование частей в целостной структуре. Симметрия и структура неразрывно связаны. Если некоторая система имеет структуру, то она обязательно имеет и некоторую симметрию. Идея симметрии имеет исключительное значение и как ведущее начало в осмыслении структуры естественно-научного знания. Едва ли можно оспаривать эвристическую ценность и методологическое значение принципа симметрии. Известно, что при решении конкретных научных проблем этот принцип играет роль критерия истинности» [5].

Принцип причинности предполагает взаимозависимость физических явлений в пространстве-времени и связь состояний во времени. Представления о причинности эволюционировали от абсолютного де-

терминизма в классической механике до вероятностной причинности и принципа неопределенности Гейзенберга – в квантовой. Тем не менее общим остается то, что согласно этому принципу, каждое явление должно иметь причину. В космологии о наличии причинной связности в ранней Вселенной свидетельствует одинаковость температуры теплового фона излучения. Поскольку в основе космологии лежат релятивистские теории, в которых скорость распространения взаимодействия не может превышать скорость света, действие причинности ограничивается горизонтом событий и не охватывает всю современную Вселенную.

Стандартные критерии научности требуют соответствия теории эмпирическим фактам. В этом смысле наиболее вероятной является стандартная космологическая модель (СКМ), поскольку в ее основании лежат хорошо подкрепленные физические теории, а также существует достаточно много экспериментальных данных, которые в целом согласованы с этой моделью. В состав стандартной космологической модели входят модели Фридмана, которые являются решениями уравнений общей теории относительности, и инфляционная модель, которая описывает начальную стадию эволюции Вселенной.

Экспериментальными данными, подтверждающими СКМ, являются данные о процентном соотношении распределения элементов во Вселенной, что согласуется с описанием процесса нуклеосинтеза. Наблюдения космического фонового излучения позволяют получить информацию о ранних этапах эволюции и свидетельствуют о высокой однородности ионизированного вещества до этапа нуклеосинтеза, что также согласуется с предсказаниями СКМ. Космологическое расширение, установленное по красному смещению, тоже является подтверждением моделей Фридмана. Микроволновый фон позволяет измерить расширение и постоянную Хаббла с большой точностью. Наблюдаемая средняя плотность Вселенной близка к критической, геометрия Вселенной точно соответствует евклидовой геометрии.

Принцип унификации в космологии

То обстоятельство, что теоретической основой космологии являются физические теории, обуславливает и преемственность методологии. Общая теория относительности, выступая основой космологии, содержит идеи объединения на концептуальном уровне, тесно связывая категории пространства, времени, материи и причинности. Космо-

логия, в свою очередь, не является пассивной «преемницей» идей, но придает идее объединения особую окраску.

Прежде всего, связь вышеперечисленных понятий в космологии наиболее тесно осуществляется благодаря понятию начального состояния. После рождения Вселенная расширялась, охлаждалась, рождала вещество и излучение. Одновременно образовывалось пространство-время, рождались частицы. Области, которые сейчас являются причинно не связанными, в ранние моменты жизни Вселенной взаимодействовали, что позволяет нам считать, что далеко удаленные области пространства имеют ту же самую физику. Сами феномены пространства, времени, материи оказываются неразрывно связанными в процессе образования Вселенной, что подчеркивает их глубокое родство.

Пространство роднит с материей не только предсказанное ОТО изменение кривизны, но и само его расширение. В ОТО источником гравитации являются не только массы, но также плотность энергии и плотность давления. Отрицательное давление вакуума служит источником продолжающегося расширения пространства.

Физические параметры Вселенной в моменты, близкие к ее рождению, характеризовались высокой энергией и плотностью. Будучи локализованы в небольшой области пространства, физические условия вблизи сингулярности требуют совместного применения теории относительности и квантовой теории поля. Вместе с тем объединение данных теорий пока не удается достичь из-за невозможности проквантовать гравитацию. Совместное применение принципа неопределенности и идеи о связи геометрии пространства с массой и энергией вещества приводит к неопределенности в геометрии и невозможности определить метрику пространства на микромасштабах. Флуктуации метрики делают неопределенными сами понятия пространства и времени на микромасштабах.

Эта проблема остро стоит перед теоретической физикой, и современные попытки ее решения в рамках теории петлевой квантовой гравитации и теории струн основаны на пересмотре представлений о пространстве. В частности, пространство предлагается рассматривать как дискретное, характерный размер «атомов» пространства полагается порядка планковской длины $l_{pl} = 10^{-33}$ см. Космология обостряет эту проблему, предлагая случаи, физика которых требует для своего описания совместного применения этих несовместимых теорий.

Условия, сходные с условиями большого взрыва, существуют и в черных дырах, которые, согласно космологии, являются необходимым этапом эволюции массивных звезд, чья масса превышает предел

Оппенгеймера – Волкова (две–три массы Солнца). Кроме того, по современным представлениям, в центре каждой спиральной галактики находится сверхмассивная черная дыра массой в несколько миллионов масс Солнца. Эти данные получены благодаря слежению за движением звезд, близких к ядру Галактики. «С использованием... мощных наблюдательных средств в последнее время удалось получить наиболее убедительные свидетельства наличия сверхмассивной черной дыры, массой около трех миллионов солнечных масс, в ядре нашей Галактики» [6]. Механизм происхождения сверхмассивных черных дыр пока не ясен, и поиск его объяснения является открытой проблемой космологии.

Можно сказать, что космология, испытывая фактическую потребность в объединении ОТО и квантовой теории поля для описания сингулярностей, обостряет конфликт между физическими теориями, который в физике представляет чисто теоретический интерес.

Принцип причинности в космологии

Согласно теории относительности, скорость распространения взаимодействия ограничена и совпадает со скоростью света. Поскольку возраст Вселенной конечен и, по современным оценкам, заключен в пределах от 13 до 15 млрд. лет, размер причинно связанной области также ограничен. Существует принципиальный предел расстояния, на которое простирается действие причинности. Оно совпадает с видимым размером Вселенной, определяемым как произведение возраста Вселенной на скорость света. «По порядку величины это предельное расстояние составляет десять миллиардов световых лет. Все, что дальше, что за этим горизонтом принципиально ненаблюдаемо. Дальность действия современных телескопов имеет тот же порядок величины. Самые далекие доступные наблюдению объекты (гигантские галактики и квазары) лежат на расстояниях как раз около десяти миллиардов лет, что почти у самого горизонта мира. Так что практически весь мир, принципиально доступный наблюдениям, реально и наблюдается – почти вплоть до его горизонта» [7].

Причинная связанность Вселенной делает возможной наблюдения, поскольку действие астрономической наблюдательной техники основано на фиксации радиоволн различной длины и переводе принятых сигналов в воспринимаемый наблюдателем вид. Приборы конструируются с учетом физических теорий, которые позволяют осуществить фиксацию сигнала и его усиления, выделить сигнал из фона, обработать данные и интерпретировать полученный результат. Как в космологии, так и в физике

наблюдения являются теоретически нагруженными, физические теории часто играют роль инструментальных. Причинная связанность Вселенной используется для обоснования ее однородности на больших масштабах и для обоснования предположения, что в удаленных частях Вселенной действуют те же самые законы физики.

Ускоренное расширение Вселенной, представляющее собой «раздувание» самого пространства, может превосходить скорость света, поэтому расширение Вселенной может сделать причинно не связанными удаленные области пространства, ранее причинно связанные. Открытие ускоренного расширения потребовало ввести представления о силе, компенсирующей действие гравитации. Действие этой силы объясняют наличием некой субстанции, получившей название «темная энергия». Одна из интерпретаций связывает ускоренное расширение с отрицательным давлением вакуума. Если наличие этой связи подтвердится, то пространство окажется еще более тесно связанным с материей. Данная интерпретация указывает на такое свойство «пустого» пространства, которое не предполагалось в рамках физики. Космология ставит перед физикой еще одну, пока не разгаданную загадку, указывая, что область, исследованная физиками, составляет не более 4%. Основную часть, 75%, составляет некая неизвестная сущность – темная энергия. Этот вызов, брошенный космологией физике, может привести к радикальному пересмотру понятия пространства в процессе поиска концепции, в которой пространство и материя окажутся более тесно связанными.

Наличие горизонта видимой Вселенной поднимает вопросы о размере Вселенной. Считается, что Вселенная не имеет границ. Если принять, что Вселенная бесконечна, то в ней должно существовать бесконечно много областей, ограниченных своими горизонтами. Это тезис, принимаемый так называемой концепцией лоскутной мультивселенной [8], предполагающей наличие множества непересекающихся миров. В принципе, в силу квантовых флуктуаций состояния Вселенной в первые доли секунды, возможны области с другой физикой, так как флуктуации полей при охлаждении оказались «вмороженными» в ткань пространства [9].

Принцип симметрии в космологии

Особенности применения принципа симметрии в космологии связаны с тем, что теоретическая основа космологии – ОТО является теорией пространства-времени. Соответственно, пространственная симметрия отражена в основном космологическом постулате: Вселенная

на больших масштабах однородна и изотропна. Речь идет о расстояниях порядка 100 МПк. На меньших расстояниях во Вселенной выявлена так называемая ячеистая структура, образованная скоплениями галактик, перемежающимися большими объемами пустого пространства. В связи с нарушением однородности Вселенной на меньших масштабах возникает несколько проблем.

Одна из проблем подобна проблеме единого-многого в ионийской философии. На современном языке ее можно сформулировать так: как из первоначального однородного состояния возникла видимая неоднородность в распределении вещества? В модели горячей Вселенной для объяснения процесса образования сгустков вещества использовалась неоднородность Джинса. Этот эффект связан с большим гравитационным притяжением той области пространства, в котором случайным образом оказалось сосредоточено большее количество массы. Поэтому для запуска процесса сгущения вещества достаточно случайной флуктуации плотности в одной из областей.

Трудность состоит в том, что неоднородность Джинса может обеспечить разницу плотностей в десятки раз. Но наблюдаемый разброс плотностей намного выше: плотность вещества нейтронной звезды достигает 10^{15} г/см³, в то время как плотность вещества в вакууме близка к нулю. Для объяснения наблюдаемой разницы плотностей требуется вводить дополнительные факторы, одним из которых является темная материя – сущность неизвестной природы, обладающая, по видимому, только гравитационным и, может быть, также слабым взаимодействием. Есть несколько гипотез, выдвинутых для объяснения природы темной материи, но проверка этих гипотез пока не осуществлена, хотя планируется получить частицы темной материи на ускорителях.

С симметрией другого рода связана проблема нуклеосинтеза. В молодой Вселенной должно быть примерно равное количество частиц и античастиц, после аннигиляции которых образовались фотоны. Для объяснения того, откуда взялся избыток вещества по отношению к антивеществу, используется представление о спонтанном нарушении симметрии при слабом взаимодействии.

Выводы

Космология в качестве теоретической основы имеет физические теории и, соответственно, наследует методологические принципы, характерные для физики. В космологии эти принципы приобретают не-

сколько иной оттенок, обостряя противоречия, существующие между физическими теориями. На наш взгляд, невозможность построить теорию квантовой гравитации обусловлена несовместимостью пониманий пространства. Квантовая механика заимствует механическое понимание пространства как вместилища или арены, на которой разворачиваются взаимодействия. Теория относительности связывает кривизну пространства с распределением энергии и вещества. Космология заостряет это противоречие, предъявляя случаи, для описания которых необходимо совместное применение этих несовместимых теорий. Кроме того, открытие ускоренного расширения Вселенной указывает на тесную связь свойств пространства и давления. Возможно, поиск объяснения темной энергии приведет к ломке существующих концептуальных представлений.

Примечания

1. *Безлепкин Е.А.* Обоснование методологического принципа унификации в теоретической физике // *Философия науки*. – 2012. – № 2(53). – С. 79.
2. *Симанов А.Л.* Опыт разработки системы методологических принципов // *Философия науки*. – 2001. – № 1(9) – С. 7.
3. Там же. – С. 9.
4. *Желудев И.С.* Симметрия и ее приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 3.
5. *Симанов А.Л.* Опыт разработки системы методологических принципов. – С. 12.
6. *Черпаицук А.М., Чернин А.Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. – Фрязино: Век 2, 2004. – С. 156.
7. Там же. – С. 206.
8. См.: *Грин Б.* Скрытая реальность: Параллельные миры и глубинные законы космоса. – М.: Либроком, 2012.
9. См.: *Linde A.D.* (1983). Chaotic inflation // *Physics Letters B*. 1983. – V. 129 (3–4). – P. 177–181.

Дата поступления 11.05.2013

Институт философии и права
СО РАН, г. Новосибирск
storozhuk@philosophy.nsc.ru

***Storozhuk, A.Yu.* The methodological basis of cosmologic theories**

The paper presents results of the study aimed at revelation of the methodological basis of the standard cosmologic model. Its revelation makes possible to specify the nature of relationship between cosmology and physics and to forecast a general trend in the development of cosmologic conceptions.

Keywords: methodological principle, cosmology, unification, space