

О методологических проблемах космологии и квантовой гравитации

А.Д. Панов, НИИЯФ МГУ.

Показано, современные исследования в области космологии, квантовой космологии, квантовой гравитации и в некоторых других областях физики фактически вышли за рамки традиционной методологии, основанной на принципе наблюдаемости и принципе воспроизводимости эксперимента. Делается попытка установить новые методологические рамки, адекватные современному уровню исследований. С использованием материалов недавней статьи Ли Смолина [Smolin, 2009] обосновывается точка зрения, согласно которой следование традиционной методологии в упомянутых выше областях, хотя и логически допустимо, но непродуктивно. Выбор методологической базы исследований, в конце концов, является вопросом соглашения.

Методология (и философия) физики и примыкающих к ней научных дисциплин возникла и развивалась преимущественно на основе опыта лабораторных исследований и опыта наблюдений над регулярно повторяющимися небесными (астрономическими и метеорологическими) явлениями. В результате методология оказалась хорошо адаптированной именно к такому контексту и она неявно предполагает, что другого контекста не существует. В частности, в этом контексте очень полезными и эффективными оказались такие методологические принципы, как принцип наблюдаемости и принцип воспроизводимости эксперимента.

Согласно принципу наблюдаемости, результаты физических теорий должны быть сформулированы в терминах, которые могут быть определены операционально, то есть которые могут быть прямо связаны с некоторой процедурой измерения. Иными словами, любая теория должна быть сформулирована в терминах измеримых величин, а сами измеримые величины приобретают смысл в рамках определенных теоретических моделей. Во избежание недоразумений надо отметить, что некоторые ингредиенты теории, возникающие на промежуточных этапах в ее математическом аппарате, могут прямо не соответствовать никаким наблюдаемым величинам. Таков, например, произвольный фазовый множитель перед волновой функцией в квантовой механике или точное значение потенциалов электромагнитного поля в электродинамике. Часто такие величины связаны с разными типами калибровочной инвариантности или калибровочной свободы, но могут появляться и по другим причинам. Принцип наблюдаемости показал свою исключительную эффективность, например, в обсуждении смысла понятия времени и одновременности при создании теории относительности, и в обсуждении принципа неопределенности (микроскоп Гейзенберга) и дополнительности во времена становления квантовой теории.

По нашему мнению, приведенная выше формулировка принципа наблюдаемости не только достаточно точно отвечает тому, как этот принцип был использован при создании специальной теории относительности и квантовой механики, но и практически точно таким же способом он используется в квантовой теории поля и в общей теории относительности (ОТО), пока речь не идет о космологических моделях. Становление принципа наблюдаемости в физике связано, в основном, с именами Гейзенберга и Эйнштейна, и соответствующие формулировки приведены, в частности, в статье Гейзенберга¹, где он, в числе прочего, описывает свое обсуждение принципа наблюдаемости с Эйнштейном. Одна сторона принципа наблюдаемости, а именно, то, что теории должны формулироваться в терминах наблюдаемых величин, сформулирована в упомянутой статье на стр. 303 Гейзенбергом как «...мысль об описании явлений только с помощью наблюдаемых величин». Вторая сторона принципа наблюдаемости – что сами измеримые величины приобретают смысл только в рамках определенных теоретических моделей – была

¹ В. Гейзенберг. Теория, критика и философия. УФН, Т.102, вып.2 (1970), С.298-312.

сформулирована Эйнштейном, слова которого Гейзенберг приводит там же: «Можно ли наблюдать данное явление или нет – зависит от вашей теории. Именно теория должна установить, что можно наблюдать, а что нельзя». Однако, отношение Эйнштейна к принципу наблюдаемости было сложным. Он, в частности, заметил, что «...каждая разумная теория должна позволять измерять не только прямо наблюдаемые величины, но и величины, наблюдаемые косвенно»² и, по словам Гейзенберга, неодобрительно отзывался о принципе наблюдаемости в целом. Эйнштейн не определил точно, что следует понимать под косвенными измерениями в общем случае, поэтому не полностью понятно, что он имел в виду. Вопрос о косвенных наблюдениях не прост, и он будет иметь большое значение в нашем последующем обсуждении.

Согласно принципу воспроизводимости эксперимента, научную информацию дает только такой эксперимент (или наблюдение), который (по крайней мере в принципе) может быть воспроизведен неограниченное число раз и дает при этом повторяющиеся (воспроизводящиеся) результаты. Однако принцип воспроизводимости имеет отношение не только к интерпретации экспериментальных результатов. С принципом воспроизводимости в теории тесно связано понятие ансамбля систем, которое является ядром многих теоретических схем. Воспроизводимость эксперимента подразумевает возможность иметь неограниченное количество копий изучаемой системы в заданном состоянии, над которыми можно проводить заданное измерение. Такое потенциально неограниченное число копий системы в заданном состоянии называется ансамблем. Важно отметить, что воспроизводимость в физике не обязательно означает точную повторяемость результатов измерений (в пределах ожидаемых ошибок) над системой в одном и том же исходном состоянии, но может означать лишь статистическую устойчивость средних значений или вероятностных распределений величин. В этом случае различные серии измерений должны приводить к одинаковым статистическим результатам в пределах ожидаемых флуктуаций статистики. Именно такой тип измерений над ансамблем и само существование ансамблей принципиально важны для формулировки квантовой теории, так как только в рамках ансамбля систем можно сделать ясным и недвусмысленным понятие средних значений и вероятностей, в терминах которых и формулируется связь квантовой теории с экспериментом. Следует добавить, что принцип воспроизводимости эксперимента и существование ансамблей определяет возможность измерений, в принципе, с любой наперед заданной точностью, так как статистические ошибки могут быть сделаны как угодно малыми за счет неограниченного увеличения статистики. Таким образом, интерпретация принципа наблюдаемости как измеримости, в принципе, с любой наперед заданной точностью зависит от принципа воспроизводимости.

Ниже мы рассмотрим соотношение принципов наблюдаемости и воспроизводимости с современными направлениями исследований в фундаментальной физике, при этом нам придется обсуждать некоторые новые понятия, для которых не существует сложившейся терминологии. Мы не будем вводить для них новых терминов, но вместо этого некоторые существующие понятия нагрузим новым смыслом, и будем в рамках настоящей статьи использовать их не вполне традиционным образом. Такое словоупотребление надо понимать чисто формальным образом, подобно тому, как, например, в математике под термином *росток* понимается множество функций с одинаковым локальным поведением в данной точке, но вовсе не новорожденное растение в биологическом смысле. Такими формальными терминами будут вводимые ниже понятия традиционной методологии, объективного измерения, предиктивности и модельной реальности.

Методологию, основанную на принципах наблюдаемости и воспроизводимости эксперимента будем называть (в данной статье) *традиционной методологией*. Помимо принципов наблюдаемости и воспроизводимости третьим важнейшим методологическим принципом является принцип фальсифицируемости, который означает, что теория должна

² Цит. стат., С.303.

давать такие предсказания для эмпирической проверки, которые в принципе могут быть однозначно отвергнуты экспериментом. Принцип фальсифицируемости вместе с принципами наблюдаемости и воспроизводимости дают то, что можно было бы назвать критерием научности знания в современном понимании. Надо, однако, отметить, что так определенное понятие научной строгости содержит элементы модельной идеализации, это идеал научной строгости, и в практической реализации этого критерия всегда было множество тонкостей, на которых здесь нет возможности останавливаться. Так, например, ряды метеорологических наблюдений представляют вполне научное знание, хотя не удовлетворяют критерию воспроизводимости, так как по определению относятся к уникальным событиям; в математике существуют различные подходы к определению понятия доказательства, поэтому что именно надо понимать под воспроизводимым методом получения математических результатов есть вопрос конвенции, и т. д. Однако в реализации традиционной методологии наметились и такие проблемы, которые тонкостями не назовешь.

В физике принципы наблюдаемости и воспроизводимости были чрезвычайно полезными и конструктивными и не приводили к серьезным трудностям до тех пор, пока можно было ограничиться изучением относительно простых и компактных объектов. Однако перенос той же методологии на более сложные случаи приводит к очень серьезным проблемам. Вот пара характерных примеров.

Один пример относится к понятиям квантовой вероятности и квантового состояния в применении к сложным макрообъектам. Если рассматривается некоторая относительно простая квантовая система (например – спин электрона) в заданном состоянии, то в принципе можно рассмотреть ансамбль, состоящий из неограниченного числа копий таких систем. Это означает, что такой ансамбль в принципе можно приготовить для экспериментального изучения. Проведя над этим ансамблем достаточно большое количество взаимно дополнительных (в квантовом смысле) измерений, можно с любой наперед заданной точностью определить распределения вероятностей и ожидаемые значения соответствующих наблюдаемых и с их помощью полностью реконструировать начальное состояние системы (это иногда называется квантовой голографией состояния). Например, для ансамбля, представляющего некоторое спиновое состояние электрона, достаточно измерить средние значения спина вдоль трех различных направлений³. Аналогичную процедуру можно реализовать и в более сложных случаях. В этом смысле квантовые вероятности, как и квантовое состояние, полностью удовлетворяют принципу наблюдаемости, являются нормальными физическими характеристиками системы и являются наблюдаемыми элементами физической реальности. Хотя, конечно, нужно отметить, что состояние есть операционально определенная характеристика ансамбля квантовых систем, но не единичной квантовой системы. Под системой, обладающей состоянием, надо понимать ансамбль единичных квантовых систем, а не каждую единичную квантовую систему отдельно. Такова природа квантового мира.

Если рассмотреть пару электронов, или, например, атом водорода, состоящий из протона и электрона, то будем иметь сложные квантовые системы, состоящие из более простых. Эти более сложные системы тоже могут характеризоваться квантовыми вероятностями и квантовыми состояниями, которые операционально могут быть определены на языке ансамблей, подобно тому, как это было показано выше. Принципиальных проблем не возникает. Сложная система, состоящая из двух или нескольких более простых квантовых подсистем, сама является квантовой системой и обладает квантовым состоянием, как и следовало ожидать.

³ В каждом отдельном измерении измеряется проекция спина только на одно направление. Проекции на различные направления не измеримы одновременно. Но имея ансамбль систем в одном и том же начальном состоянии, для разных подансамблей можно измерить проекции спина на разные направления и найти соответствующие средние значения или вероятности, относящиеся к исходному ансамблю. Эти средние значения позволяют восстановить спиновое состояние, характеризующее исходный ансамбль.

Однако, если в качестве сложной системы, состоящей из квантовых подсистем – атомов и молекул, рассмотреть, например, мозг некоторого конкретного человека, то окажется, что принципиально невозможно построить ансамбль таких систем в заданном состоянии. Мало того, что каждый человек абсолютно уникален, один и тот же человек на протяжении своей жизни не окажется даже дважды в одном и том же состоянии (в том числе – из-за неустранимого квантового взаимодействия с окружением), не говоря о неограниченном количестве повторений состояния. Подчеркнем, что состояние крупного и сложного макрообъекта, вообще говоря, принципиально невозпроизводимо в нашей Вселенной, так как оно подвергается непрерывному и неконтролируемому воздействию со стороны всей остальной Вселенной (например, в форме теплового излучения и микроволнового реликтового излучения)⁴. Фактически, каждое состояние макрообъекта (не только мозга) столь же уникально, как и состояние всей Вселенной из-за непрерывного, неустранимого и неконтролируемого квантового перепутывания состояния этого макрообъекта с состоянием оставшейся части Вселенной. Отсюда следует, что, строго говоря, квантовые вероятности и квантовые состояния сложных макрообъектов вроде человеческого мозга являются принципиально операционально неопределимыми. Означает ли это, что квантовое состояние мозга человека просто не существует и мозг вообще не может рассматриваться как квантовая система? Это кажется нелепым, ведь он заведомо состоит из частей – атомов, каждый из которых является квантовой системой. Тем более, что весьма плодотворными в квантовой теории являются разного рода мысленные эксперименты, в которых рассматриваются системы, одной из составных частей которых является сознание наблюдателя, трактуемое как квантовая система. Строго говоря, рассмотрение таких мысленных экспериментов с точки зрения принципов наблюдаемости и повторяемости методологически неприемлемо.

Другой пример связан с квантовой космологией. Здесь дела обстоят еще хуже, так как объектом изучения квантовой космологии должно быть квантовое поведение Вселенной в целом. В рамках квантовой космологии вселенная приобретает статус всеобъемлющего и, тем самым, принципиально единственного в своем роде физического объекта⁵, который при этом является существенно квантовым и совершает уникальную квантовую эволюцию⁶. В этом случае возникает множество проблем, одной из которых является то, что квантовые вероятности и квантовое состояние такой всеобъемлющей системы заведомо не имеет простого операционального смысла, так как ничего подобного ансамблю вселенных в одном и том же начальном состоянии с экспериментальной точки зрения иметь невозможно. Между тем, рассматривать Вселенную как квантовый объект необходимо для того, чтобы понять некоторые реально наблюдаемые явления. Среди них важнейшими являются анизотропия реликтового излучения и характер крупномасштабной неоднородности в распределении вещества во Вселенной, которые являются следствием квантовых флуктуаций на очень ранней стадии эволюции Вселенной, когда были существенны крупномасштабные квантовые эффекты. Более того, квантово-космологические представления уже были применены с исключительным успехом для предсказания углового

⁴ Существуют макрообъекты специального вида, для которых понятие квантового состояния хорошо операционально определено. Это макрообъекты, состояние которых отделено от низших возбужденных состояний энергетической щелью, которая препятствует передаче возбуждений от окружения к объекту. Такими объектами являются, например, сверхтекучие жидкости и токи в сверхпроводниках.

⁵ Статус вселенной или универсума как всеобъемлющего *физического* объекта в рамках различных космологических теорий рассмотрен в статье: В.В. Казютинский, Эпистемологические проблемы универсального эволюционизма. В кн.: Универсальный эволюционизм и глобальные проблемы. М.: ИФРАН, 2007. В статье объясняется, что в этом смысле онтологическое содержание понятия «вселенная» зависит от конкретной космологической теории и существенно отличается от философской категории «все сущее».

⁶ Точнее, не совершает никакой эволюции. В большинстве моделей квантовой космологии квантовая вселенная в целом является стационарным объектом и описывается безвременным квантовым уравнением Уилера-ДеВитта. Эволюция возникает только как эффективное понятие для наблюдателей, находящихся внутри вселенной.

спектра анизотропии реликтового излучения (включая очень тонкие детали явления) и масштаба неоднородности наблюдаемого распределения вещества во Вселенной. Как понять этот результат? С точки зрения традиционной методологии он неприемлем, так как представление о Вселенной как о квантовом объекте в рамках принципов наблюдаемости и повторяемости лишено смысла. Однако успех этого «методически неприемлемого» подхода слишком уж очевиден.

По поводу квантовой космологии сделаем одно важное замечание. С квантовой космологией очень тесно связаны квантовые теории гравитации. Связь здесь такая. Не любая космологическая модель или теория, в которой существенны квантовые эффекты, является в то же время и моделью квантовой гравитации. Например, квантовые флуктуации, приводящие к анизотропии реликтового излучения, не имеют отношения к квантово-гравитационным эффектам и могут рассматриваться вне моделей квантовой гравитации. Речь здесь идет о квантовых флуктуациях поля инфлатона – скалярного поля, приводящего к инфляции, которые являются обычными квантово-полевыми флуктуациями, не имеющими прямого отношения к квантовой гравитации или квантованию пространства-времени. Но почти любая квантово-гравитационная теория описывает как единую квантовую систему всё пространство-время, то есть фактически является одновременно и моделью квантовой космологии. В этом качестве для квантовой гравитации характерны все те методологические проблемы, которые были упомянуты выше в отношении квантовой космологии. Ниже, говоря о проблемах квантовой космологии, мы всюду будем подразумевать и аналогичные проблемы в квантовой гравитации.

Как могут быть разрешены эти парадоксы (т.е., почему и как «методологически неприемлемые» теории приводят к практически полезным результатам) до сих пор не вполне ясно. Наша точка зрения состоит в том, что эти парадоксы являются следствием попытки механически распространить традиционную методологию за те рамки, в пределах которых эта методология ранее была установлена и апробирована. Вероятно, следует честно признать, что методология науки не является чем-то совершенно незыблемым, но определенная методология может иметь границы применимости подобно тому, как имеет границы применимости и каждый отдельный физический закон. Важно отдавать себе отчет о возможности существования таких границ и необходимости ревизии важнейших методологических принципов при вынужденном выходе за эти границы. Где же находятся эти границы и что могут представлять собой новые методологические принципы?

Мне представляется, что космология (и особенно – квантовая космология), квантовая гравитация и некоторые другие разделы физики вроде квантовой теории сознания заведомо лежат за этими границами, о чем говорят упомянутые выше парадоксы. Просто каким-либо уточнением существующих методологических принципов здесь, видимо, не обойтись – изменения методологии должны быть явными и довольно радикальными. Впрочем, исследователи в этих областях науки фактически уже давно выходят за рамки стандартной научной методологии (как это понятие было определено выше), но делают это неявно и, видимо, часто не вполне осознанно.

По моему мнению, имеется необходимость заменить принципы наблюдаемости и воспроизводимости эксперимента некоторыми более общими положениями. Мы их попытаемся сформулировать следующим образом. Во-первых, теории должны всего лишь *давать предсказания, хотя бы косвенно проверяемые в экспериментальных наблюдениях*, но необязательно все существенные выходные данные теории должны быть строго операционально определимы. Это положение ниже будем называть *принципом предиктивности*, который заменяет принцип наблюдаемости. Во-вторых, сами экспериментальные наблюдения должны обладать свойством объективности, но не обязательно воспроизводимости. Это положение будем называть *принципом объективности наблюдений*, оно заменяет принцип воспроизводимости эксперимента. Введенные методологические положения требуют пояснений (в частности, было использовано не определенное понятие косвенного измерения). Хотелось бы, конечно, дать точные, строгие и

исчерпывающие определения для введенных понятий, но эта задача представляется слишком сложной, и мы не будем пытаться ее здесь решить. Вместо этого поясним смысл введенных понятий просто на уровне здравого смысла, с использованием нескольких примеров.

Под «объективными экспериментальными наблюдениями» (принцип объективности) здесь понимаются наблюдения, обладающие следующими двумя свойствами. Во-первых, такие наблюдения подразумевают, что их результаты прямо доступны неограниченному числу экспертов-наблюдателей. Тем самым исключены, например, самонаблюдения над индивидуальным состоянием сознания экспериментатора и другие подобные наблюдения субъективного характера. Это нетривиально, так как некоторые подходы к интерпретации квантовой теории, и, в частности, в отношении квантовой структуры Вселенной, могут включать подобные самонаблюдения [Менский, 2007]. Допущение подобных субъективных методов означало бы дальнейшее расширение методологической базы, что в данном случае не требуется. Во-вторых, требуется, чтобы наблюдения осуществлялись с помощью оборудования, которое приводит к воспроизводимым результатам в обычном смысле в *тестовых экспериментах и калибровочных измерениях*. От самих результатов измерений воспроизводимости, вообще говоря, не требуется, так как они могут иметь в каком-то смысле уникальный характер или не быть воспроизводимыми контролируемым образом. Примерами объективных, но невоспроизводимых наблюдений являются наблюдения некоторых уникальных астрофизических событий, например, нейтринной вспышки от взрыва сверхновой 1987А в Магеллановом облаке [Имшенник, 1988; Моррисон 1988]. Ясно, что в данном случае о воспроизводимости измерений в обычном смысле говорить не приходится, но критерии объективности выполнены. Невоспроизводимость некоторых объективных наблюдений нередко создает проблемы. Так, например, в то время, как особых сомнений в достоверности регистрации нейтринного сигнала сверхновой 1987А нет (так как он был зарегистрирован несколькими нейтринными телескопами с разной степенью надежности), то же самое нельзя сказать о регистрации гравитационного импульса, сопровождающего взрыв сверхновой 1987А, единичной установкой в Римском эксперименте по обнаружению гравитационных волн (см. там же).

Отметим, что принцип объективности наблюдения представляет собой ослабленный принцип воспроизводимости, так как из воспроизводимости эксперимента всегда следует объективность соответствующего наблюдения, но обратное, вообще говоря, неверно. Иначе говоря, выполняется принцип соответствия принципа объективности наблюдения по отношению к принципу воспроизводимости. Можно отметить, что в качестве критерия научности экспериментальных результатов принцип объективности наблюдения очень часто и уже довольно давно используется неявно вместо критерия воспроизводимости эксперимента.

Рассмотрим теперь более подробно принцип предиктивности теорий. Принцип предиктивности требует, чтобы теории давали *принципиально* проверяемые следствия (вовсе не обязательно, чтобы эти следствия были проверяемы на уже достигнутом технологическом уровне!), *некоторым* образом (хотя бы *косвенно*) связанные с экспериментом, но не требует, чтобы каждый существенный ингредиент теоретической модели обязательно имел строгий операциональный смысл. Мы затрудняемся в общем виде определить, что следует понимать по непрямой (косвенной) связи теории и эксперимента, которое, по сути, является ядром понятия предиктивной теории. Вместо этого разберем смысл понятия предиктивности на важном и весьма нетривиальном реальном примере предсказания и обнаружения анизотропии реликтового излучения, а вопрос о точном определении оставим для будущих исследований.

Квантовая теория, будучи примененной к ранним (инфляционным) стадиям эволюции Вселенной, предсказывает определенное распределение для квантовых флуктуаций поля инфлатона, которые в конце концов и становятся источником неоднородности распределения материи горячей вселенной и, затем, анизотропии реликтового излучения.

Переход из фазы инфляции к фазе разогрева вселенной [Долгов, Зельдович, Новиков, 1988; Linde, 2007] эквивалентен некоторому измерению (в том смысле, в котором измерение понимается в квантовой теории) амплитуды этих квантовых флуктуаций. Виртуальные квантовые флуктуации фиксируются в виде флуктуаций плотности материи в классическом результате такого «измерения». Строго говоря, квантовая теория предсказывает лишь распределение вероятностей для получения различных картин распределения этих флуктуаций в пространстве и, соответственно, для получения различных распределений угловой анизотропии температуры реликтового излучения по небу.⁷ Чрезвычайно важны две вещи. Во-первых, соответствующие квантовые вероятности операционально неопределимы (так как невозможен ансамбль вселенных), при том, что они представляют собой основной результат теоретической модели. Т.е. мы имеем дело с теорией, явно не удовлетворяющей классическому принципу наблюдаемости. Во-вторых, то что мы видим, является результатом всего лишь единичного «измерения» картины распределения флуктуаций из всего того множества, которое описывается распределением вероятностей. Поэтому в точности то, что мы видим, с точки зрения квантовой теории принципиально непредсказуемо, так как квантовая теория не предсказывает результаты единичных измерений – она предсказывает только распределения вероятностей. Мы же имеем дело с единичным результатом измерения, который, в соответствие с теорией, может быть просто любым. Что же в таком случае можно сравнить (и реально сравнивается) с теорией?

Фактически, теория предсказывает, что *наиболее вероятны* такие распределения флуктуаций плотности в момент разогрева Вселенной, которые приводят к вполне определенному спектру неоднородностей плотности (именно: к почти плоскому спектру) и, затем, к определенным корреляциям в распределении температуры реликтового излучения по небу (к определенному типу анизотропии). В предположении, что именно такая наиболее вероятная картина и реализовалась, можно сравнить то, что мы видим, с тем, что теория предсказывает в качестве наиболее вероятного результата. Но мы априори не имеем никаких гарантий, что реализовался именно наиболее вероятный результат. Поэтому, если мы обнаруживаем в наблюдениях существенное отклонение от этого наиболее вероятного результата, то нет никакого способа решить, в чем дело: теория неверна, или мы имеем дело с большой квантовой статистической флуктуацией.

Интересно, что реально имеет место именно этот последний случай. Имеется существенный недостаток в анизотропии с большими углами (одна или две низшие угловые гармоники в анизотропии), и невозможно понять, имеем ли мы дело со статистической флуктуацией, или с теорией что-то не то. Существенное отличие ситуации, которую мы имеем, от нормальной ситуации в квантовой теории измерений состоит в том, что нормально мы можем измерить все распределения вероятностей или средние значения с любой наперед заданной точностью, просто используя достаточно большой ансамбль систем. В космологии анизотропии реликтового фона, напротив, мы имеем дело фактически с единичным результатом квантового измерения, или с ансамблем, состоящим из всего одного экземпляра системы и одного измерения над ней, и ничего не можем сделать для того, чтобы уменьшить статистическую погрешность. И мы в принципе не имеем никаких гарантий (кроме здравого смысла и статистических оценок), что полученное согласие или несогласие теории и

⁷ Отметим, что точный квантовый смысл анализа обычно несколько замаскирован полуфенологическим и полуклассическим характером реально проводимых вычислений (см., например [Долгов, Зельдович, Новиков, 1988: Гл. 11]). Например, сначала в вычислениях могут делаться корректные квантовые оценки величины виртуальных флуктуаций поля инфлатона, но затем они рассматриваются как обычные классические вариации поля и вычисляется, насколько вариации амплитуды поля смещают во времени момент окончания инфляции (что и является причиной флуктуации плотности материи). В действительности надо понимать, что вся эволюция квантовых флуктуаций, включая и разные моменты завершения инфляции, в точной квантовой картине происходит виртуально, то есть должна представляться как квантовая суперпозиция набора различных классических эволюций. Разогрев вселенной и окончание инфляции делают одну из этих эволюционных траекторий действительной для нас, для наблюдателей. В полуклассическом подходе эти тонкости игнорируются, что не меняет общий квантовый смысл анализа.

наблюдений не является результатом просто статистической флуктуации. Таким образом, хотя связь теории с экспериментом имеется (и чисто внешне выглядит как очень хорошее подтверждение теории наблюдениями, что и представляется общественности), на самом деле эта связь весьма косвенная (это можно рассматривать как один из примеров косвенного измерения), и принцип наблюдаемости для теории не выполнен. Теория дает предсказания, лишь достаточно сложным (косвенным) образом связанные с наблюдением, и это есть пример выполнения принципа предиктивности, но не принципа наблюдаемости в точном смысле. В данном случае эта лишь косвенная связь теории с измерениями приводит к тому, что теория принципиально не может быть проверена со сколь угодно высокой точностью, что, в принципе, должно иметь место в рамках стандартного научного метода, по крайней мере в идеале.

Эта фундаментальная неопределенность хорошо известна, и называется космической неопределенностью (cosmic variance) [Mukhanov, 2004; Somerville et al, 2004]. Для мультиполя с номером l в анизотропии реликтового фона относительная амплитуда этой неустранимой вариабельности составляет величину порядка $(l+1/2)^{-1/2}$, что для низшего мультиполя $l=2$, который соответствует углу примерно 90° , дает величину масштаба 50%. Именно здесь имеется максимальное расхождение теории и эксперимента, которое составляет величину около 90% от ожидаемого значения (т.е. наблюдается анизотропия в десять раз ниже ожидаемой). Хотя такое расхождение на фоне ожидаемой неустранимой неопределенности в 50% невозможно считать статистически значимым, остается ощущение тревожной неопределенности в отношении природы этого отклонения. Важно, что никаким улучшением экспериментальных методик неопределенность эту устранить невозможно. Отметим, что ни в цитированных статьях [Mukhanov, 2004; Somerville et al, 2004]., ни в других источниках, где обсуждается космическая неопределенность, не представлено явное понимание того, что эта неопределенность является выражением принципиального ослабления эмпирической методологической базы в квантовой космологии по сравнению с традиционной методологией.

Можно заметить, что и в обычных квантовых измерениях (да и в любых других измерениях) результат тоже всегда получается лишь с конечной точностью. Однако эту точность, в принципе, всегда можно неограниченно увеличивать, используя ансамбли все большего размера, в то время как в примере наблюдения анизотропии реликтового фона никакое увеличение точности невозможно, так как мы ограничены ансамблем, состоящим из единственного квантового измерения. Эта ограниченная точность является для нас таким же фундаментальным свойством нашей Вселенной, как и принцип неопределенности, что является выражением более ограниченной эмпирической базы предиктивной теории по сравнению с теорией, отвечающей принципу наблюдаемости.

В отношении предиктивных теорий возникает следующий важный вопрос. Предположим, некоторая теория прошла проверки экспериментом и дала важные предсказания новых явлений, существование которых тоже подтверждено наблюдениями. При этом теория содержит *существенные*⁸ элементы, которые прямо не связаны с выполнимыми наблюдениями и не имеют прямого операционального смысла. Такими элементами могут быть некоторые объекты или некоторые свойства каких-либо объектов. Более того, теория может явно запрещать возможность прямого наблюдения этих элементов. Обоснованно предполагая, что теория «правильная», так как она дает правильные и полезные предсказания, должны ли мы считать такие ненаблюдаемые элементы реальными вместе с «реальностью» теории?

⁸ Слово «существенные» в этом контексте требует определения, которое, однако, мы пока не можем дать в достаточно замкнутом и общем виде. Примерами существенных элементов теории являются вероятностные предсказания любой квантовой теории, так как это вообще единственный способ связи теории с наблюдениями. При этом в теориях квантовой космологии и в квантовой теории макроскопических объектов эти вероятности, как мы видели, оказываются операционально неопределимыми – ненаблюдаемыми. Другим типом «существенного» элемента теории является Мультиверс в инфляционной космологии (рассматривается ниже).

Я думаю, что дело здесь в неверной постановке вопроса как «или-или». Когда мы интересуемся, реален некоторый объект или не реален, мы неявно апеллируем к традиционной методологии, основанной на принципе наблюдаемости. В рамках традиционной методологии понятие реальности хорошо определено: что наблюдаемо, то и реально. Мы же работаем в рамках новой методологии, и в рамках этой методологии такие объекты получают статус, который не отвечает точно ни «реальности» ни «не реальности» в рамках старой методологии. Такой статус объекта логично назвать *модельно-реальным*, и этот статус не соответствует точно ни одному из старых понятий. Важно также отметить, что некоторый объект, который на определенном этапе развития теории имеет статус модельно-реального, со временем, в принципе, может поменять свой статус на просто реальный, то есть доступный прямому наблюдению. Для того, чтобы пояснить понятие модельной реальности теоретических объектов (элементов теории), полезно рассмотреть некоторые примеры.

Пару примеров модельно-реальных объектов мы уже, фактически, упоминали выше – это квантовое состояние Вселенной в моделях квантовой космологии и квантовой гравитации и квантовые состояния сложных макроскопических объектов. Другим объектом этого типа, и, возможно, одним из самых интересных таких объектов, является инфляционный Мультиверс и заполняющие его «другие вселенные».

Как известно, инфляционная космология (для наиболее свежего обзора см. [Linde, 2007], [Горбунов, Рубаков, 2009], [Лукаш, Михеева, 2010]) смогла решить многие загадки Фридмановской космологии и дала важнейшее предсказание анизотропии реликтового излучения, которое было блестяще подтверждено в более поздних наблюдениях. Однако большая часть инфляционных сценариев, в том числе наиболее простые и естественные сценарии, которые пока лучше всего соответствуют наблюдениям, описывают инфляционное рождение не одной вселенной (нашей собственной), а сразу огромного числа вселенных (можно считать, что актуально бесконечного числа). Эти дополнительные вселенные являются практически неизбежным (или, по крайней мере, очень естественным) компонентом теории, которая прекрасно согласуется с наблюдениями. Множество этих вселенных называется Мультиверсом, или инфляционным Мультиверсом. Геометрия Мультиверса такова, что все другие вселенные в простейшем случае (в случае отсутствия топологических дефектов пространства, см. ниже) оказываются за нашим горизонтом событий и потому непосредственно недоступны для наблюдения. По этой причине Мультиверс, в соответствии с теорией инфляции, породившей это понятие, не удовлетворяет принципу наблюдаемости, и в традиционной методологии должен быть признан несуществующим, а структура самой теории инфляции неудовлетворительной, как предсказывающей существенные ненаблюдаемые объекты.

Заметим, что Мультиверс, ведь, не является каким-то второстепенным элементом теории, появляющимся лишь на промежуточных этапах вычислений, вроде фазового множителя перед волновой функцией в квантовой механике. Здесь причина «существенности» объекта состоит, в частности, в том, что внутри самой инфляционной космологии наша собственная Вселенная имеет точно такой же статус, как и все другие локальные вселенные Мультиверса. Все они являются наблюдаемыми с точки зрения гипотетических локальных наблюдателей, помещенных в эти локальные вселенные, но только не с нашей собственной локальной точки зрения. То есть, здесь причина существенности объекта в теории состоит в существовании гипотетических наблюдателей, для которых объект реален в обычном смысле. Эта причина отличается от причины существенности операционально неопределимых вероятностей в квантовой космологии и квантовой теории макрообъектов (см. выше).

Таким образом, так как инфляционная космология является весьма успешной теорией, подтверждаемой наблюдениями, но при этом подразумевает существование ненаблюдаемого Мультиверса, то Мультиверс в этой теории имеет статус модельно-реального объекта.

Поясним, как, в принципе, Мультиверс может поменять статус с модельно-реального на просто реальный. Если вселенные Мультиверса могут иметь топологические дефекты в виде пространственно-временных тоннелей, известных как кротовые норы, то не исключено, что они могут соединять различные вселенные (имеются соответствующие модели, являющиеся решениями уравнений ОТО, см. [Шацкий, Новиков, Кардашев, 2008]). Тогда через такой тоннель вселенные в принципе могут обмениваться информацией или даже материей. Кротовые норы в нашей Вселенной могут проявлять себя как астрофизические объекты особого рода [Новиков, Кардашев, Шацкий, 2007]. Если такие объекты когда-нибудь будут обнаружены и будет показано, что они действительно соединяют разные вселенные, то существование Мультиверса будет доказано прямыми наблюдениями, после чего Мультиверс получит статус реального объекта.

Мультиверс является довольно экзотическим объектом, поэтому и его статус как модельно-реального объекта не слишком удивляет. Однако можно показать, что статус модельно-реального элемента теории имеет и гораздо более привычное представление о глобальной однородности Вселенной. Действительно, проводя астрономические наблюдения очень удаленных областей Метагалактики, мы одновременно смотрим в далекое прошлое. Так как Вселенная расширяется, то в далеком прошлом плотность матери в ней была много выше, чем сейчас⁹. Поэтому в прямых наблюдениях удаленных областей пространства мы обнаружим среднюю плотность матери более высокую, чем в нашем непосредственном окружении. Утверждение же о глобальной однородности Вселенной относится к плотности материи, измеренной в одно и то же космологическое время во всех точках пространства. Но одновременные с нами в смысле космологического времени и удаленные на космологические расстояния участки пространства находятся за нашим горизонтом событий и принципиально недоступны прямым наблюдениям. Т.е., если под прямыми наблюдениями понимать наблюдения причинно связанных с нами объектов¹⁰, то однородность Вселенной не является прямо наблюдаемым свойством Вселенной. Глобальную однородность Вселенной можно подтвердить только сравнив предсказания однородной космологической модели Фридмана-Робертсона-Уокера с результатами наблюдений, или пересчитав прямо наблюдаемую картину распределения плотности для разных времен (в зависимости от расстояния) на один и тот же момент космологического времени во всем пространстве в соответствие с моделью Фридмана-Робертсона-Уокера. Глобальная однородность Вселенной приобретает реальность только благодаря интерпретации экспериментальных данных с помощью однородных и изотропных космологических моделей, но недоступна в прямых наблюдениях, поэтому она имеет статус модельно реальной, подобно Мультиверсу. В этом смысле предсказанная моделями инфляции картина анизотропии реликтового излучения тоже может (и даже должна) интерпретироваться как косвенное проявление существования Мультиверса. Более того, причина не полной, а лишь модельной реальности для Мультиверса и для однородности Вселенной одна и та же – в обоих случаях речь идет о реальности объектов, находящихся за нашим горизонтом событий¹¹.

⁹ Это не относится к плотности темной энергии (энергии вакуума, квинтэссенции и т.д.) которая может оставаться постоянной (но может тоже изменяться – это зависит от точного уравнения состояния темной энергии, которое пока известно только очень приблизительно).

¹⁰ Идея разделять наблюдения на прямые и непрямые по признаку причинной связанности явления или объекта с наблюдателем принадлежит Е.А. Мамчур.

¹¹ В этом анализе опущены некоторые несущественные тонкости. Например, если сейчас в лабораторном журнале сделать запись о плотности материи в окрестности нашей Галактики, то через 14 млрд. лет станет доступна прямая информация об областях пространства, которые сейчас находятся вблизи горизонта событий. Тогда, сравнив прямо измеренные данные с записью в журнале, сделанной 14 млрд. лет назад, можно будет прямо убедиться в однородности Вселенной в рамках горизонта, имевшего место 14 млрд. лет назад (но не в момент проверки). Не очень понятно, можно ли такие измерения считать прямыми для нас сейчас. В любом случае это меняет ситуацию не очень принципиально, так как в нашей Вселенной могут иметься области, которые навсегда останутся вне горизонта событий, если Вселенная расширяется с ускорением. Для таких областей однородность пространства никак не может быть установлена прямо.

Пример с глобальной однородностью Вселенной показывает, что различие между реальностью и модельной реальностью теоретических объектов является довольно тонким, и часто не осознается. Модельная реальность объектов наивно принимается просто за реальность.

Вернемся к принципу фальсифицируемости теорий. В традиционной методологии, если некоторая теория дает проверяемые следствия, то эти следствия могут быть в принципе проверены с любой требуемой точностью благодаря принципу воспроизводимости эксперимента. Поэтому, если только следствия теории не слишком тривиальны, теория автоматически оказывается фальсифицируемой, причем фальсифицируемой с любой требуемой надежностью (когда она приводит к следствиям, противоречащим результатам наблюдений). В новой методологии ситуация сложнее, что мы видели на примере измерения анизотропии реликтового фона. Так как эксперимент может не обладать свойством воспроизводимости по отношению к рассматриваемой теории (мы имеем только один экземпляр рисунка анизотропии фона на небе, а надо бы – неограниченную выборку таких рисунков), то и теория не может быть фальсифицирована с любой наперед заданной степенью надежности. Расхождение наблюдений с теорией всегда можно списать на счет неконтролируемой флуктуации. Новая методология приводит к возможности фальсификации теорий лишь с ограниченной степенью точности. Таким образом, изменение в принципах наблюдаемости и воспроизводимости неминуемо влечет изменение в понимании и принципа фальсифицируемости.

Вне всяких сомнений, принятие новой методологии означает снижение уровня научной строгости, что не может не вызывать беспокойства. Применение новой методологии в традиционных областях науки было бы совершенно неоправданным. Однако альтернатива, насколько мы ее понимаем, такова: либо значительную часть современной космологии и квантовой теории надо признать лежащей вне науки (если строго придерживаться традиционной методологии), либо принять новую методологию (как она была представлена в этой статье или какую-нибудь ее модификацию) и продвигаться дальше в таких дисциплинах, как инфляционная и квантовая космология, квантовая гравитация, квантовая теория сознания и некоторых других направлениях, настоятельно требующих расширения методологической базы.

Нет никакой возможности доказать, что новая методология в каком-то смысле более правильная или менее правильная, чем традиционная. Нам представляется, что возможны два разных пути в оценке ее статуса.

Первый путь состоит в том, чтобы отнести к новой методологии как к философскому методологическому принципу, который не может быть доказан, но может быть принят или отвергнут в зависимости от мировоззренческой позиции исследователя. Иными словами, принимать новую методологию, или не принимать – это вопрос соглашения или личного выбора. В конечном счете обоснованность выбора может определяться только субъективно понятой продуктивностью того или иного решения¹². Фактически, новая методология или какой-то ее вариант принимается большинством исследователей, работающих в упомянутых выше областях. Однако выбор новой научной методологии рефлексирован очень слабо, остается неявным, и это порождает немало недоразумений вплоть до того, что, например, космологи объявляются шарлатанами, Мультиверс – «научным мифом» и т. д. Явная рефлексия ситуации философского выбора позволяла бы более обоснованно возражать критикам космологии как «иронической науки».

Есть и второй путь в оценке статуса новой методологии, который позволяет снять проблему выбора методологии. Этот путь представляет как бы взгляд на всю ситуацию сверху.. Будем считать, что обе методологии (традиционная и новая) актуальны и обе

¹² Отметим, что объективного критерия продуктивности нет, так как сама оценка продуктивности тоже зависит от методологических установок. То, что одни будут называть ценным результатом теории, другие, которые априори не согласны с принятыми в этой теории методологическими установками, просто вообще не будут считать результатом. Круг замыкается.

принимаются, но мы должны согласиться, что одна методология допускает, вообще говоря, один набор исследуемых объектов и соответствующий набор результатов, другая методология допускает другой набор объектов и, соответственно, другой набор результатов. Иными словами, каждая методология характеризуется своей областью «научных истин», эти области, вообще говоря, различны (хотя могут и частично пересекаться), и вся конструкция существует «одновременно». Таким образом, возникает чисто реляционное понятие научной истины, когда понятие истины представляет собой соответствия типа [методология-результат]. В этой связке левая ее компонента – методология – это философское понятие, а правая компонента – научное понятие. Правая, научная компонента пары, получается экспериментально-дедуктивным методом в рамках методологии, задаваемой левым, философским компонентом пары. Таким образом, схема понимания существования многих разных научных методологий становится *реляционной философско-научной конструкцией* (РФНК).

Подчеркнем, что, хотя все это и немного напоминает соответствие между научными парадигмами и получаемыми в рамках этих парадигм научными результатами, это вовсе не то же самое. Различные различные научные парадигмы обыкновенно мыслятся в рамках одного и того же представления о научной методологии вообще, или, другими словами, в рамках одного представления о том, что такое наука. В РФНК устанавливается связь между различными представлениями о том, что такое наука как таковая (научная методология), и различными наборами результатов. При этом в рамках каждой научной методологии по-прежнему может существовать множество различных парадигм, которые обычным образом сменяют или дополняют друг друга. Научная методология есть нечто существенно более широкое, чем научная парадигма. Связь между научной парадигмой и ее результатами есть связь между различными научными категориями, строящаяся внутри науки, а связь между научной методологией и соответствующими результатами есть связь между объектами различной гносеологической природы – между философскими принципами и научными результатами.

Надо сделать несколько замечаний о структуре РФНК. Во-первых, хотя в обсуждении РФНК мы пока явно упоминали только две научные методологии, она допускает существование и других методологий. В частности, в связи с исследованиями М.Б. Менского мы уже упоминали методологию, которая могла бы допускать индивидуальное самонаблюдение сознания. Различные научные методологии, фигурирующие в РФНК, не являются совершенно произвольными, но связаны друг с другом принципом соответствия, образуя иерархическую структуру. В корне этой структуры лежит традиционная научная методология, основанная на принципах воспроизводимости и наблюдаемости, являющаяся наиболее строгой, и поддерживающая наиболее узкий круг систем, допускающих исследование, и наиболее узкий круг самых строгих научных результатов. Прочие методологии являются обобщениями традиционной научной методологии в различных направлениях. При этом сами они могут как включать друг друга, так и пересекаться лишь частично, но все они включают традиционную методологию. Чем дальше методология располагается от корня всей системы – традиционной методологии – тем менее строгой она становится. Под самой общей методологией можно понимать метафизику. Под метафизикой здесь мы понимаем такой способ высказывания суждений, когда требуется подчинение этих суждений логике (явные противоречия не допускаются), но не предполагается возможность их верификации иными способами. РФНК схематически представлена на Рис. 1.



Рис. 1. Схема реляционной философско-научной конструкции (РФНК). Черный кружок представляет традиционную научную методологию

Важным обстоятельством является то, что определенные представления о реальности, вообще говоря, не имеют постоянного места в схеме РФНК, но совершают движение от периферии к центру. Так, например, концепция многих миров (Мультиверс) возникла впервые как чисто метафизическая конструкция. Она использовалась, в частности, для прояснения смысла антропного принципа. В рамках инфляционной космологии Мультиверс уже получает некоторый экспериментальный статус, так как является элементом теории, дающей проверяемые экспериментальные предсказания (анизотропия микроволнового фона). В связи с этим мы говорили о других вселенных как о модельно-реальных объектах, и они оказываются в сфере новой методологии, более узкой, чем метафизика. Если будут найдены проходимые топологические тоннели пространства, связывающие разные вселенные, то другие вселенные могут стать наблюдаемыми в обычном смысле, и Мультиверс окажется в рамках традиционной научной методологии. Что-то похожее может происходить и с другими научными представлениями. Таким образом, РФНК не является статической конструкцией, но напоминает, скорее, конвейер, по которому научное знание транспортируется с периферии всей конструкции в направлении ее внутренних областей. Наша задача – любое знание продвинуть как можно ближе к центру. Надо понимать, что в каждом конкретном случае возможность достигнуть центр, вообще говоря, не гарантирована.

В концепции РФНК научное знание принимает чисто реляционный характер. Один и тот же набор результатов может рассматриваться как истинный или нет (или даже просто лишенный смысла) в зависимости от того, относительно какой методологии мы его рассматриваем. Означает ли это, что понятие просто истины (абсолютной истины) исчезло? Думаю, что нет. Приведу аналогию. В математике известна так называемая теорема Гудстейна, которая является некоторым утверждением о целых числах (пример взят из книги (Пенроуз, 2003), стр.12-14). Можно прямо проверить, что для любого целого числа утверждение этой теоремы справедливо. Тем не менее, было доказано, что в обычной арифметике ее доказать невозможно. Утверждение Гудстейна не является теоремой. Тем не менее, доказать утверждение удастся, если вместо обычного принципа индукции арифметики использовать его обобщение, известное как трансфинитная индукция. То есть, в одной парадигме утверждение Гудстейна является теоремой, в другой – не является, но, при всем при этом оно является истинным в некотором высшем смысле: какие целые числа ни проверять, теорема выполняется. Она просто верна, независимо от наших внутренних установок при попытке ее доказать. Математическая истина в данном случае существует сама по себе, независимо от того, под каким углом зрения мы хотим на нее смотреть. Наши различные подходы – это только разные пути, которые ведут к абсолютной математической истине. Концепция РФНК тоже представляет не истину как таковую, а только доступные для нас способы приближения к ней. Истина же просто есть, и всё.

Очень интересной публикацией, отражающей явное *понимание* ограниченности стандартной научной методологии применительно к космологии и квантовой гравитации, но при этом настаивающей на необходимости оставаться в рамках традиционной методологии, является недавно вышедшая в электронном журнале PHYSICSWORLD.COM статья известного специалиста в области космологии, квантовой гравитации и теории струн Ли Смолина [Smolin, 2009]. Статья называется “The unique universe” – единственная вселенная.

Статья довольно многоплановая, не совсем проста для понимания, и я не берусь представить здесь все многообразие ее аргументации. Скорее, постараюсь дать свое понимание тех ее аспектов, которые относятся к обсуждавшимся выше вопросам.

Лейтмотивом статьи является мысль, что представления о Мультиверсе и о квантовом состоянии нашей собственной вселенной физически бессмысленны. Первое бессмысленно по причине ненаблюдаемости Мультиверса, второе – по причине операциональной нереализуемости понятия квантовой вероятности в приложении к единственному экземпляру один раз эволюционирующей вселенной, который только и доступен нашему наблюдению. Как мы видели, эти утверждения абсолютно верны в рамках традиционной методологии физики, основанной на принципах наблюдаемости и воспроизводимости. Собственно, мы и начали анализ с этих положений, так что здесь нечего возразить. Ли Смолин идет дальше и, сознательно и жестко придерживаясь стандартной методологии, доводит анализ до логического завершения.

В качестве одного из основных принципов космологии он предлагает следующее утверждение: «Существует только одна вселенная. Не существует других вселенных, и не существует также ничего, что могло бы быть изоморфно им». Это очень жесткое утверждение является вполне логичным и даже красивым следствием принципа наблюдаемости по той простой причине, что ни другие вселенные, ни объекты, изоморфные другим вселенным или Мультиверсу не могут иметь атрибута существования *в рамках точного принципа наблюдаемости*. Все что наблюдаемо по определению входит в нашу вселенную, что ненаблюдаемо – просто не существует.

Хотелось бы отметить, что последствия столь жесткой декларации более чем значимы (сам Ли Смолин по этому поводу ничего не пишет). Поскольку инфляционная космология определенно содержит в себе объекты, изоморфные другим вселенным, а именно – всю концепцию Мультиверса, то она не имеет права на существование, то есть не может рассматриваться как жизнеспособная теория. Вместе с ней исчезают предложенные ей

решения загадок Фридмановской космологии (плоскостность, проблема горизонта и др.), предсказание анизотропии микроволнового фона и возмущений материи, из которых сформировались протогалактики, а также вся богатая идеями наука, которую породила концепция инфляции. Подчеркнем, что это выглядит совершенно логичным, и, принимая точный принцип наблюдаемости, против этого нельзя возразить ни единого слова. Только вот вряд ли такой подход можно назвать продуктивным.

По моему глубокому убеждению, основным назначением науки является понимание природы – по крайней мере именно этот мотив движет исследователем. Наука, конечно, имеет и прикладное значение, и, чисто логически, может рассматриваться как способ предсказывать поведение систем по начальным данным, но не это главное, а главное – понимание. Трудно возражать против того, что инфляционная космология дала колоссальный объем и глубину нового понимания природы, и вот теперь все это понимание вполне законно нужно объявить неприемлемым. С логической точки зрения такое положение дел совершенно нормально в рамках традиционной методологии, но психологически его принять трудно. И дело здесь, видимо, в том, что надо просто признать, что инфляционная космология оказалась за рамками традиционной методологии. Методология должна быть другой, а не инфляционная космология.

Ли Смолин идет еще дальше. Он справедливо отмечает следующие два обстоятельства. Во-первых, начальные условия Вселенной, которые привели в Большому Взрыву, принципиально не полностью доступны нашему наблюдению (в частности, из-за горизонта событий), и, кроме того, мы не имеем возможности исследовать различные начальные условия, так как мы имеем одну-единственную эволюцию Вселенной. Во-вторых, по причине единственности доступного нам примера эволюции Вселенной, лишено операционального смысла понятие конфигурационного пространства Вселенной – то есть множества всех возможных ее состояний. Отсюда Смолин делает вывод, что обычная схема физической теории (которую он называет Ньютонской), когда задается начальное состояние системы и вычисляется траектория системы в конфигурационном пространстве, для космологии не имеет смысла (поскольку не имеет смысла ни один из ее ингредиентов). Иначе говоря, не имеет смысла представлять себе динамику Вселенной, как динамику системы, которая потенциально может начинаться с различных начальных состояний и давать различную эволюцию в конфигурационном пространстве. Фундаментальные законы физики вместе с начальным состоянием Вселенной должны составлять единое целое, или, по-другому, начальное состояние имеет тот же статус, что и фундаментальные законы, оно столь же фундаментально. Разделять научное описание Вселенной на начальное состояние и эволюцию в конфигурационном пространстве неверно. Начальное состояние и эволюция должны представляться как единый теоретический объект. Это порождает новую ситуацию, когда не только *ответы* инфляционной космологии на вопросы о причине возникновения весьма специального начального состояния нашей Вселенной (плоскостность, возмущения плотности...), нельзя считать адекватными по причине неадекватности самой инфляционной космологии, но и сам *вопрос* о том, почему мы имеем такое начальное состояние, лишен смысла. Нам просто запрещено спрашивать, почему начальное состояние такое, какое оно есть, так как это фундаментальный и несводимый ни к чему факт. И опять, надо отметить, что в традиционной методологии наблюдаемости и воспроизводимости эти выводы вполне логичны.

Однако, мы уже имеем много убедительных ответов на разные «почему?» относительно структуры начального состояния Вселенной. Чисто логически, в традиционной методологии физики надо признать, что все эти ответы лишены смысла, так как бессмыслен сам вопрос (не говоря уже о способе ответа на него с использованием инфляционной космологии). Представляется, что это не особенно продуктивная позиция, и выход состоит в том, чтобы сознательно отойти от традиционной методологии. Надо отметить, что сам Ли Смолин не приводит конкретных указаний, как конкретно должна

строиться космология в такой жесткой классической методологии. Ссылок на конкретные модели нет.

С вопросом о единственности вселенной и отсутствием у нее квантового состояния Ли Смолин связывает вопрос о фундаментальности понятия времени. Рассматриваемые им связи довольно многочисленны и я их не буду анализировать детально, но суть аргументации сводится к следующему.

В современной физике есть по крайней мере два источника, из которых произрастает идея, что время не является фундаментальным понятием, но возникает лишь некоторым эффективным образом в нашем макроскопическом восприятии мира. Одним источником этой идеи стали уже самые ранние модели квантовой космологии и гравитации (см. напр. [DeWitt, 1967]). Современные модели сохраняют это свойство. Квантово-космологические модели определяют волновую функцию вселенной, которая не содержит времени – она вневременная. Соответствующее уравнение (уравнение Уилера-ДеВитта) тоже не содержит времени, и определяет некоторый статический объект – вневременную вселенную. Общая причина этого проста. Она состоит в том, что эволюцию вселенной нельзя параметризовать каким-то внешним по отношению к вселенной временем, так как время измеряется часами, а вне вселенной нельзя поместить часы. Все, что существует, по определению находится внутри вселенной, и не может находиться вне ее. Фактически наблюдаемая внутри такой вселенной эволюция является эффективным понятием для наблюдателей, находящихся внутри вселенной, и представляется в терминах корреляции некоторых наблюдаемых величин. Если одну из таких величин назвать часами, то возникает эффективная эволюция подсистем вселенной, в которой время можно рассматривать как параметр.

Вторым источником идеи эмерджентности времени является понятие Мультиверса инфляционной космологии. Здесь нет никакого единого времени, в котором существует весь этот объект. Эффективное время возникает только внутри локальных вселенных (да и то со множеством оговорок). Мультиверс в целом должен описываться некоторой вневременной физикой, которая описывает вероятности (в некотором операционально неопределимом смысле!) возникновения разных типов вселенных.

Как мы видели, в подходе Ли Смолина (точнее – в строгой традиционной методологии, которой он совершенно точно придерживается) как Мультиверс, так и квантовые состояния вселенной вместе с квантовой космологией оказываются лишены смысла. Поэтому оба источника идеи о нефундаментальности понятия времени оказываются недействительными. Поэтому Смолин считает, что нужно строить физику, в том числе и квантовую гравитацию, с использованием моделей, в которых времени возвращается его фундаментальная роль. Он приводит три примера квантово-гравитационных моделей, которые обладают этим свойством: причинная динамическая триангуляция, квантовое граффити, унимодулярная гравитация¹³ (см. ссылки в [Smolin, 2009]).

Надо согласиться, что логика Ли Смолина вполне понятна. Хотелось бы, однако, уточнить, что из нее действительно следует, что имеет смысл искать модели квантовой гравитации, где время играет фундаментальную роль, но не следует, что более общие модели, где время возникает только эффективно, недопустимы. Поэтому в данном случае его выводы никак не ограничивают свободы в выборе направления исследований.

В статье обсуждается еще несколько интересных мыслей. В частности, раз время играет фундаментальную роль, то Ли Смолин предлагает серьезно рассмотреть возможность того, что фундаментальные законы явно зависят от фундаментального времени. Эта идея вызывает возражение. Дело в том, что даже если Вселенная строго единственна, в ней нет никакого *единого* фундаментального времени, от которого могли бы зависеть фундаментальные законы. ОТО, управляющая динамикой Вселенной, допускает хорошо определенное понятие *собственного* времени для каждого отдельного наблюдателя, и это время действительно может быть в каком-то смысле фундаментальным, но единое

¹³ Causal dynamical triangulations, quantum graphity, unimodular gravity.

универсальное время для обще-релятивистской системы, вообще говоря, не определено. Действительно, если говорить о нашей Вселенной, то, например, время вблизи поверхности нейтронной звезды и в межгалактическом пространстве течет совершенно по-разному, хотя Вселенная для них – одна. Можно привести и другие примеры (см. например, [Rovelli, 2009]). Космологическое время можно ввести лишь в некотором приближении благодаря тому, что Вселенная является приближенно однородной и изотропной. Его можно связать, например, с масштабным фактором или с температурой реликтового излучения, которая в однородных и изотропных моделях однозначно связана с масштабным фактором. Именно использование температуры реликтового излучения в качестве космологических часов позволяет легко убедиться, что точного космологического времени не существует. Проблема состоит в анизотропии реликтового излучения. В каждой точке пространства нет какой-то одной единой температуры, но она зависит от того, в каком направлении вы посмотрите. Относительная величина этой анизотропии составляет несколько сотысячных – это и есть степень приближенности понятия единого космологического времени. Это приближение является довольно грубым, и отклонения легко измеримы. Такое время не может быть параметром для фундаментальных законов, так как само не фундаментально. То, что Ли Смолин понимает под фундаментальным временем, космологическим временем не является. И здесь, пожалуй, Ли Смолин начинает противоречить сам себе. Он, с одной стороны, настаивает на строгой наблюдаемости всего, с чем имеет дело физика, с другой стороны он настаивает на существовании фундаментального времени, которое в высшей степени абстрактно и спекулятивно, и, во всяком случае, не имеет операционального смысла, так как не измеряется часами. В соответствие со своими собственными установками Ли Смолин не имеет права обсуждать такой объект.

Очень интересно и остроумно в статье Ли Смолина рассмотрена физическая природа математики. Ли Смолин природу математики тоже связывает с существованием фундаментального времени. Этот вопрос, однако, прямо не связан с темой настоящей статьи, и мы отсылаем заинтересованного читателя к оригиналу [Smolin, 2009].

Подводя итоги обсуждения, еще раз отметим, что методы, используемые в современной космологии и квантовой гравитации, де факто уже вышли за пределы стандартной научной методологии физики, основанной на принципах наблюдаемости и воспроизводимости эксперимента. В этой статье мы попытались лишь явным образом зафиксировать этот выход. Новая методология означает ослабление (или размывание) эмпирической базы новых направлений физики по сравнению с ее традиционными разделами, и это есть та цена, которую приходится платить за возможность более глубокого понимания природы. Однако следует подчеркнуть, что ослабление эмпирической базы не означает ее отсутствие. Так, например, важным эмпирическим критерием, позволяющим в принципе разделять квантовые теории гравитации друг от друга, является проверка Лоренц-инвариантности [Smolin, 2003]. Однако в новых условиях заметно возрастает роль таких внеэмпирических критериев истинности, как самосогласованность и красота теории.

Статья Ли Смолина [Smolin, 2009] является чрезвычайно ярким примером того, что получается, если и в космологии стараться строго придерживаться традиционной методологии. По нашему мнению, такой путь, хотя и логически допустим, непродуктивен. Более продуктивным путем является явное расширение традиционной методологии с фиксацией соответствующих обобщенных методологических принципов, что мы и попытались отразить в данной работе.

В заключение заметим, что представления, содержащиеся в настоящей статье, требуют дальнейшего уточнения и развития. В частности, смысл ряда введенных понятий мы смогли пояснить лишь на конкретных примерах их использования, и более точные и общие определения ждут своей формулировки.

Литература

- DeWitt, B. S. 1967. Quantum theory of gravity. I. The canonical theory. Phys. Rev. V.160, No5., P.1113-1148.
- Linde A. 2007. Inflationary Cosmology. arXiv:0705.0164v2 [hep-th] (<http://arxiv.org/abs/0705.0164>)
- Mukhanov V. 2004. CMB-slow, or How to Estimate Cosmological Parameters by Hand. Int.J.Theor.Phys. V.43, P.623-668. (arXiv:astro-ph/0303072v1).
- Rovelli C. 2009. "Forget time". arXiv:0903.3832v3 [gr-qc]
- Smolin Lee. 2003. How far are we from the quantum theory of gravity? arXiv:hep-th/0303185v2
- Smolin Lee. 2009. The unique universe. <http://physicsworld.com/cws/article/indepth/39306>.
- Somerville R. S., Lee K., Ferguson H. C., Gardner J. P., Moustakas L. A., Giavalisco M. 2004. Cosmic Variance in the Great Observatories Origins Deep Survey. The Astrophysical Journal, 600:L171-L174.
- Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. 1988. Космология ранней Вселенной. М.:Изд-во Московского Университета.
- Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория. М.: КРАСАНД (URSS), 2010.
- Имшенник В.С., Надёжин Д.К. 1988. Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке: наблюдения и теория. УФН, Т. 156, Вып.4, С.561-651.
- Лукаш В.Н., Михеева Е.В. Физическая космология. Москва, ФИЗМАИЛИТ, 2010.
- Менский М. Б. 2007. Человек и квантовый мир. Странности квантового мира и тайна сознания. Фрязино.: Век2.
- Моррисон Д.Р.О. 1988. Сверхновая 1987А: обзор. УФН, Т. 156, Вып.4, С.719-752.
- Пенроуз, Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: Едиториал УРСС, 2003
- И.Д. Новиков, Н.С. Кардашев, А.А. Шацкий. 2007 Многокомпонентная Вселенная и астрофизика кротовых нор. УФН, Т.177 No9 С. 1017-1023.
- А.А. Шацкий, И.Д. Новиков, Н.С. Кардашев. 2008. Динамическая модель кротовой норы и модель Мультивселенной. УФН, Т.178, No5. С. 481-488