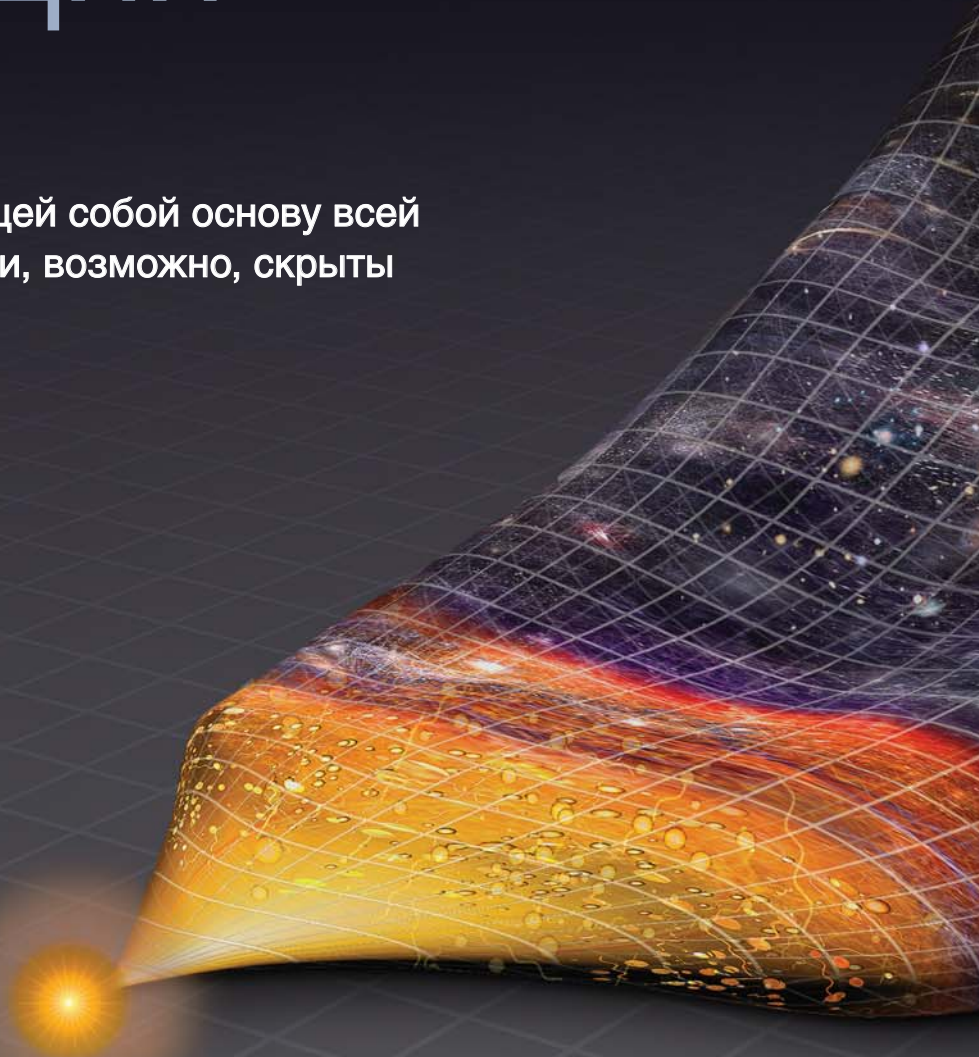


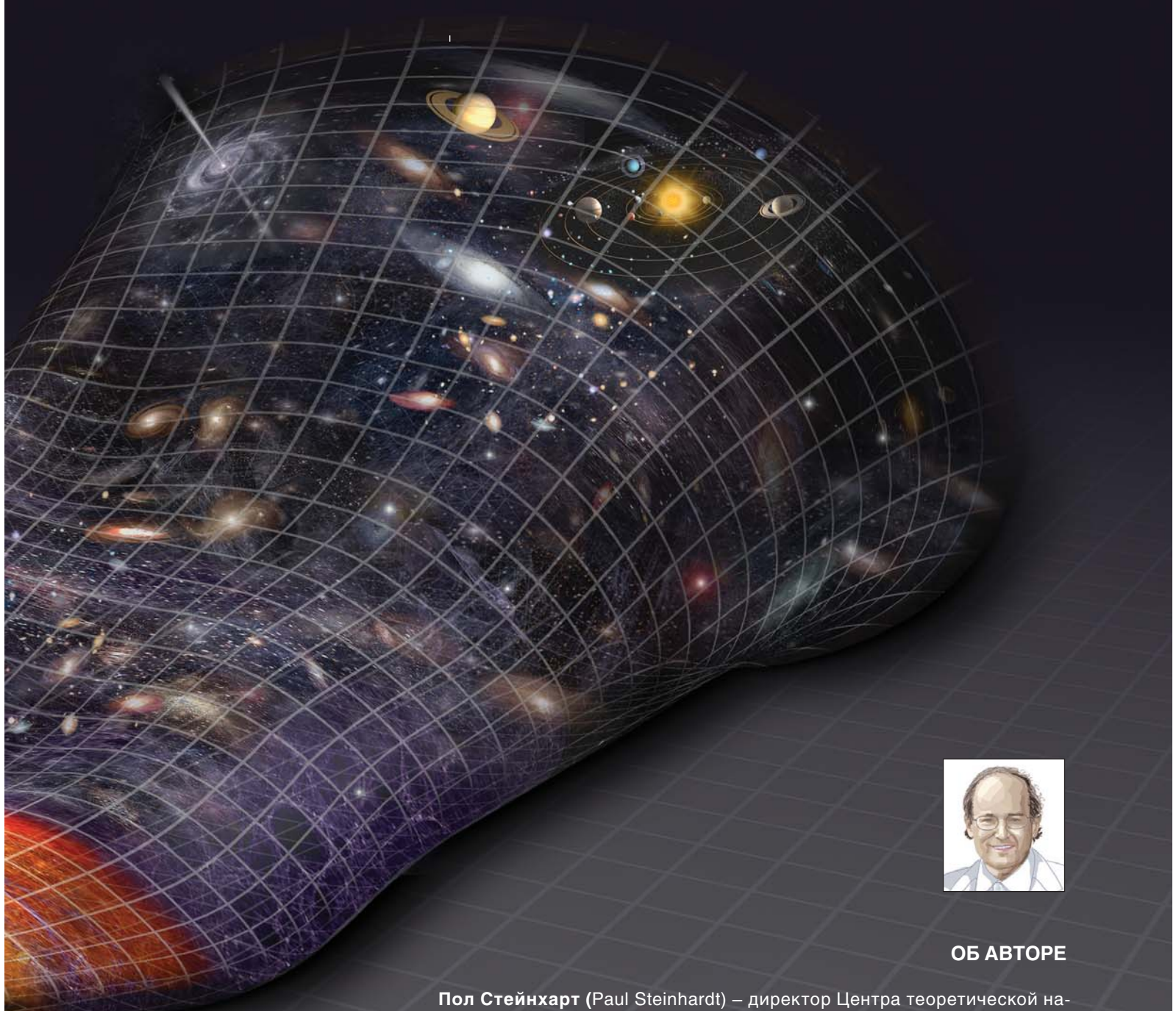
# ЗА и ПРОТИВ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФЛЯЦИИ

В теории, представляющей собой основу всей современной космологии, возможно, скрыты глубокие противоречия

Пол Стейнхардт



**Вселенная без инфляционной стадии?** Возможен пересмотр концепции стремительного раздувания ранней Вселенной (отмечено желтым) в эпоху, следовавшую за Большим взрывом



## ОБ АВТОРЕ

**Пол Стейнхарт** (Paul Steinhardt) – директор Центра теоретической науки в Принстоне, член Национальной академии наук, лауреат премии им. П. Дирака (2002) за вклад в развитие теории космологической инфляции.



**О**коло 30 лет назад Алан Гут (Alan Guth), будучи еще кандидатом наук, провел серию семинаров в Ускорительном центре в Стэнфорде, на которых ввел в лексикон космологии слово «инфляция». Этот термин означает эпоху стремительного экспоненциального расширения Вселенной, имевшего место на ранних этапах ее развития, в первые мгновения после Большого взрыва. Один из семинаров Гута состоялся в Гарварде, где произвел сильное впечатление на многих специалистов в области астрофизики, теории относительности и физики частиц, в том числе и на автора этой статьи, тоже тогда еще молодого и полного энтузиазма кандидата наук. Современная теория инфляции – одна из сфер наиболее активной деятельности космологов и источник интереснейших открытий и теорий.

Разумное основание инфляционной теории – выявить слабые стороны в теории Большого взрыва. Основная идея модели Большого взрыва заключается в том, что наша Вселенная медленно расширяется и остывает с момента своего рождения, т.е. примерно 13,7 млрд лет. Такой процесс расширения и охлаждения способен объяснить множество деталей в структуре современной нам Вселенной, если она начала свою эволюцию при строго определенных условиях. Одно из важнейших из них заключается в том, что наша Вселенная должна была быть практически совершенно однородной – за исключением совсем небольших неоднородностей в массе и энергии. Кроме того, Вселенная должна была быть геометрически плоской (*трехмерно евклидовой*. – Прим. пер.), что означает, что лучи света и пути движущихся объектов не искривлялись тканью пространства-времени.

Но почему ранняя Вселенная была такой однородной и плоской? Такие особые начальные условия

кажутся очень маловероятными. Рассуждения об этой проблеме и породили концепцию Гута. Даже если Вселенная в самом начале своего существования обладала большими неоднородностями масс и энергий, то последующее резкое экспоненциальное расширение могло бы их сгладить. После окончания инфляционного периода Вселенная могла бы продолжать расширяться уже по инерции, в полном согласии с теорией Большого взрыва и уже обладая необходимыми условиями для формирования звезд и галактик, чтобы, развиваясь, породить наблюдаемое нами сегодня состояние.

Предложенная идея была так проста и заманчива, что ученые всего мира восприняли ее как практически уже доказанную. Однако за почти 30-летний период своего развития теория инфляции претерпела изменения. Наряду с ее сторонниками появились и ее противники. Большинство воспринимают теорию инфляции как некую отправную точку своих собственных исследований, не заботясь о фундаментальном обосновании этой теории и надеясь, что ее кажущиеся противоречия вскоре будут разрешены. Однако проблемы теории инфляции упорно продолжают сопротивляться всем усилиям научного сообщества.

Автор настоящей статьи, внесший вклад в развитие как теории инфляции, так и конкурентных

ей теорий, попытается дать некую объективную оценку состояния теории инфляции на сегодняшний день, приводя аргументы за и против.

## В защиту теории космологической инфляции

Теория космологической инфляции настолько хорошо известна, что имеет смысл остановиться только на некоторых ее особенностях и важных деталях. Инфляцию порождает инфляционная энергия особого типа, которая вместе с гравитационными силами заставила раннюю Вселенную стремительно расширяться за очень короткий промежуток времени. Экстремально большая плотность инфляционной энергии обладает необычным свойством – она практически не меняется при расширении. Наиболее же удивительное ее свойство заключается в том, что гравитационное поле инфляционной энергии обладает не притяжением, а отталкиванием, которое и обуславливает такое быстрое расширение нашего мира.

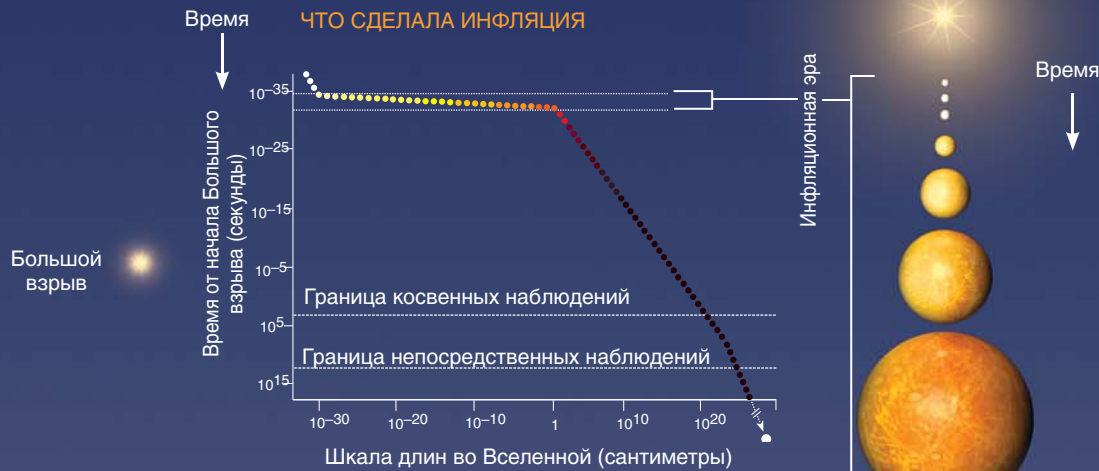
Можно предложить много источников подобной инфляционной энергии. Основная версия – существования некоего скалярного поля, в случае инфляции называемого «инфлатоном». Скалярные поля широко известны в физике элементарных частиц: так, знаменитый бозон Хиггса, ко-

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

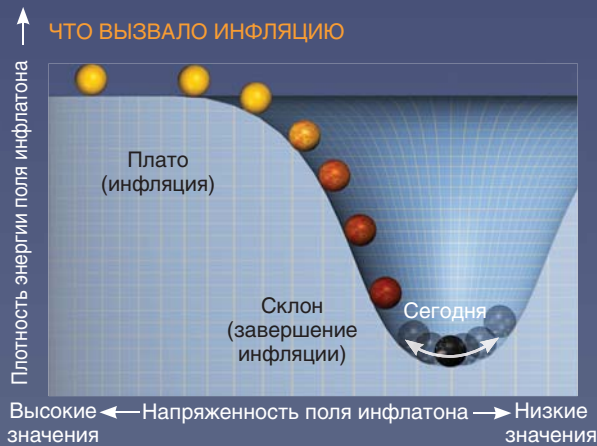
- Идея космологической инфляции настолько глубоко укоренилась в сознании ученых, что принимается как доказанная. Согласно этой концепции, ранняя Вселенная подверглась резкому экспоненциальному расширению, которое и определило глобальную однородность и плоскостность нашего современного мира.
- Однако основатели и некоторые разработчики теории инфляции полагают, что эта концепция может быть изначально ошибочна.
- Для начала инфляции Вселенная должна обладать маловероятными условиями. Кроме того, инфляция происходит вечно, производя бесконечное количество разнообразных миров, из чего следует, что эта теория не может давать точных предсказаний.
- Активно ведутся научные споры. Диапазон предложений – от поправок к теории инфляции до замены ее на другую концепцию.

**КЛАССИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕОРИИ ИНФЛЯЦИИ: ПОСЛЕДНИЙ РЫВОК РОСТА**

Согласно астрономическим наблюдениям, наша Вселенная расширяется 13,7 млрд лет. Но что же происходило в ранней Вселенной, еще недоступной нашим наблюдениям, в первые мгновения после ее рождения? Основная теория, описывающая эту самую раннюю стадию, – теория космологической инфляции. В ходе инфляции Вселенная экспоненциально расширяется, резко увеличивается в размерах. Такое стремительное расширение способно практически полностью сгладить все имевшиеся ранее неоднородности пространства-времени и, таким образом, хорошо объясняет наблюдаемую сегодня Вселенную. Оставшиеся после инфляционной стадии небольшие неоднородности послужили основой формирования звезд и галактик



**Мера роста Вселенной** во время инфляционной стадии велика даже по астрономическим стандартам. За  $10^{-33}$  с радиус Вселенной увеличился как минимум в  $10^{25}$  раз. Вселенная расширялась с ускорением, пространственные области удалялись друг от друга со сверхсветовой скоростью



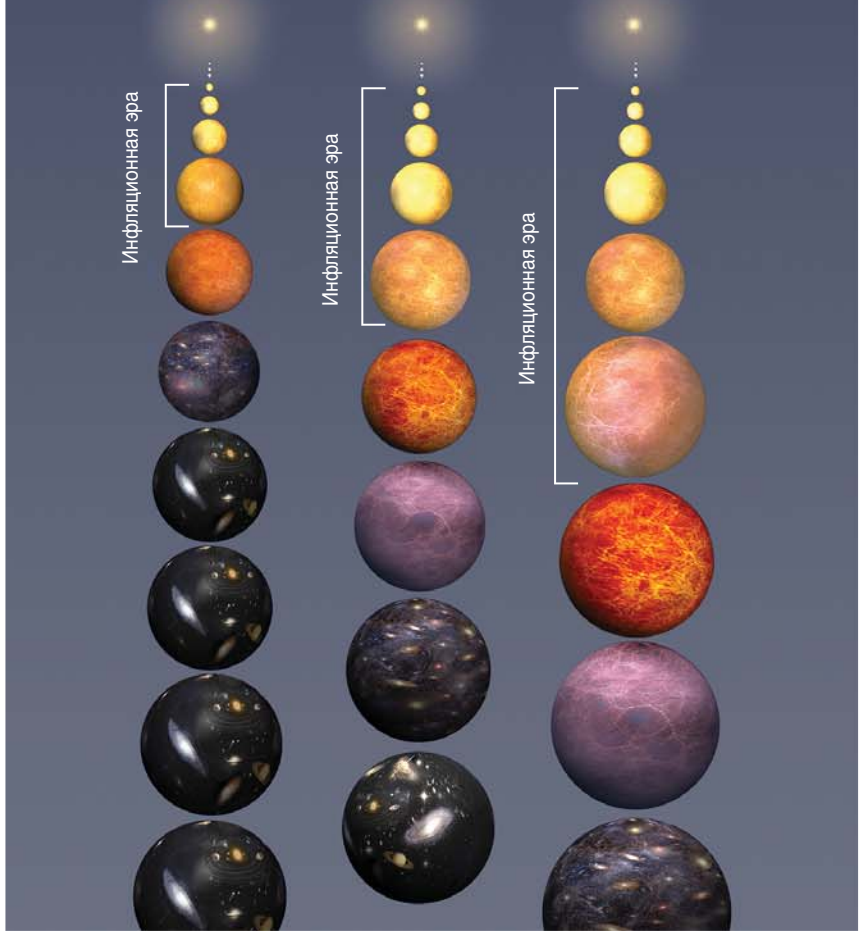
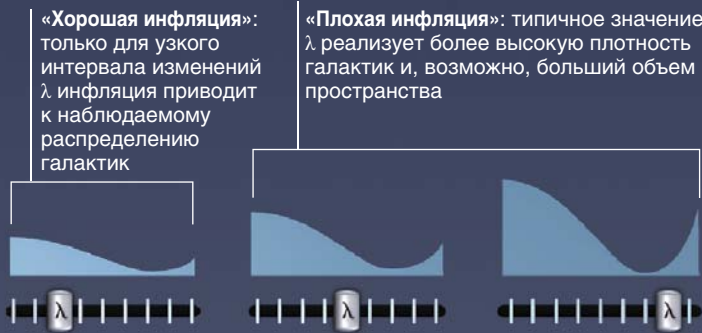
**Поле инфлатона** генерирует силу гравитационного отталкивания, которая и заставляет расширяться пространство-время. Во время расширения плотность энергии поля должна меняться в зависимости от напряженности этого поля. График такой зависимости представляет собой плато (область высоких энергий) и склон (область низких энергий). Поле ведет себя подобно шарик, скатывающемуся по наклонной поверхности в ямку. Когда оно достигает минимума плотности энергии, то инфляция заканчивается, после чего из энергии поля инфлатона начинается рождение горячего вещества и излучения

**Объем** наблюдаемого нами пространства был одной стотриллиардной долей размера атома, когда инфляция началась. Во время инфляции пространство выросло до размера монетки в 50 копеек. За последующие миллиарды лет пространство продолжало расширяться, но уже по инерции; формировались звезды и галактики (рис. дан не в масштабе)

Graphic by Jen Christiansen (top left)

## НЕ ОЧЕНЬ-ТО ХОРОША

Считается, что инфляция породила огромное пространство, в котором естественным путем возникают наблюдаемые сегодня структуры. Однако если кривая энергии инфляции не обладает весьма характерным профилем (полученным путем подгонки одного или многих параметров модели, обозначаемых далее лямбдой), то результат такой инфляции может быть «плохим», т.е. в итоге очень большой объем пространства может получить слишком высокую плотность энергии, следовательно, не соответствующее наблюдениям распределение галактик. Перебирая все возможные значения  $\lambda$ , ученые заключили, что «плохая инфляция» более вероятна, чем «хорошая»



который пытаются получить на Большом адронном коллайдере в *CERN*, – переносчик одного из предсказываемых теорией скалярных полей.

Подобно всем полям, поле инфлатона обладает некой напряженностью в каждой точке пространства-времени. Эта напряженность определяет, как инфлатон взаимодействует с другими полями. Во время фазы инфляционного расширения напряженность поля инфлатона почти всюду постоянна. В зависимости от силы этого поля оно обладает некоторым количеством потенциальной энергии. Связь между напряженностью поля и энергией можно проиллюстрировать графиком, который для поля инфлатона представляет собой кривую: сначала почти горизонтальную (плато), потом изгибающуюся вниз и снова поднимающуюся вверх. Если начальная напряженность поля принимает какое-то значение, принадлежащее плато, то по мере движения по кривой напряженность и энергия поля будут падать. Уравнения для эволюции поля такие же, как уравнения движения шарика, скатывающегося по склону в ямку; профиль склона – кривая потенциальной энергии.

Потенциальная энергия поля инфлатона – возможная причина ускоренного расширения нашей Вселенной. В процессе такого расширения неоднородности распределения вещества Вселенной сглаживаются, она становится плоской. За время, равное  $10^{-33}$  с, поле сохраняет постоянное значение, и Вселенная успевает «раздуться» в  $10^{25}$  раз по всем направлениям. Стадия инфляционного расширения заканчивается, когда величина поля инфлатона переходит с горизонтального участка кривой к наклонному. При «скатывании» поля его энергия уменьшается. В нижней точке такого скатывания вся потенциальная энергия поля инфлатона переходит в знакомые нам формы энергии: в темную материю, в обычную материю с большой кинетической энергией и в излучение, заполняющие современную нам Вселенную,



которая переходит в стадию расширения по инерции. На этой стадии формируется крупномасштабная структура.

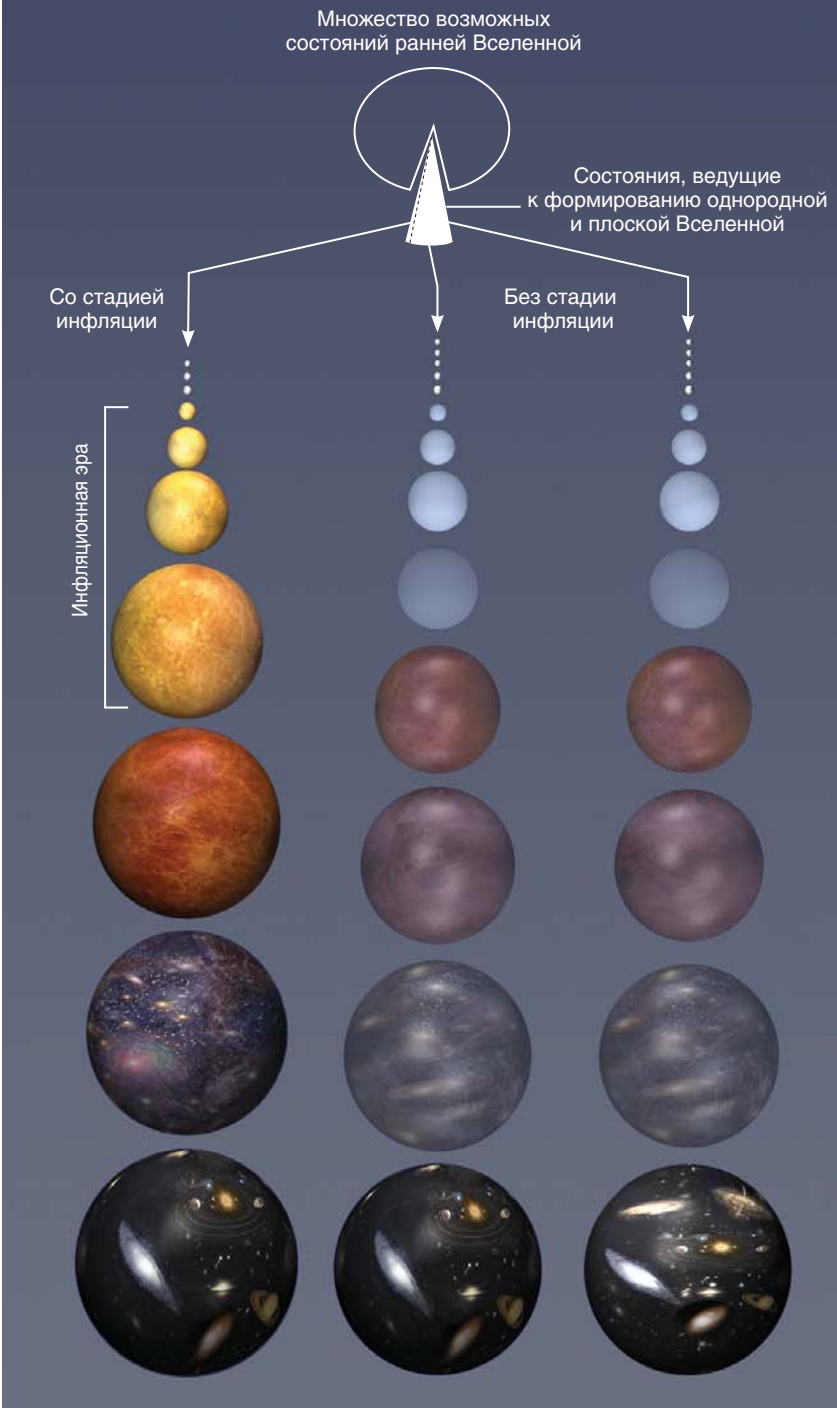
Инфляция сглаживает начальные неоднородности, но не полностью. За счет квантовых эффектов сохраняются небольшие неоднородности. Согласно законам квантовой физики, поле инфлатона не может повсюду в пространстве обладать одной и той же напряженностью, существуют случайные флуктуации этого поля. Их наличие приводит к тому, что стадия инфляционного расширения заканчивается в разных частях Вселенной не в одно и то же время, и температура различных областей Вселенной тоже слегка различается. Эти неоднородности и послужили зародышами образования звезд и галактик – в абсолютно однородной Вселенной никаких структур образоваться не могло бы. Предсказание теории инфляции заключается в том, что такие неоднородности обладают масштабной инвариантностью. Другими словами, они не зависят от размера областей, в которых формируются, они одинаковы на всех масштабах.

Концепция инфляции может быть кратко сформулирована тремя основными положениями. Во-первых, инфляция неизбежна. Со времен Гута многочисленные исследования в теоретической физике только укрепили ученых в мысли о существовании в ранней Вселенной скалярных полей, «отвечающих» за инфляционное расширение. Огромное количество таких полей появляются во всевозможных вариантах теории объединения всех физических взаимодействий, например в теориях суперструн. Считается, что в хаотичной ранней Вселенной по крайней мере одно из таких полей должно было бы обладать условиями, необходимыми для инфляции.

Во-вторых, гипотеза инфляции может объяснить наблюдаемую однородность и плоскостность современной Вселенной. Никто не знает, какими именно геометрическими параметрами и какой степенью

## ЭТО ДОЛЖНО БЫЛО БЫТЬ ТАК

Считается, что инфляция происходит вне зависимости от начальных условий, в которых находилась Вселенная. Недавние теоретические исследования показали иное. Из всех возможных начальных условий только крошечная их доля может привести к однородной и плоской Вселенной, которую мы наблюдаем. Подавляющая же часть последних не нуждается в стадии инфляции для реализации указанных наблюдаемых условий. Таким образом, ничтожно малая часть всех возможных начальных условий развития Вселенной ведет к однородному и плоскому миру путем инфляционного расширения



однородности обладала Вселенная сразу после Большого взрыва. Инфляция сделала эти вопросы несущественными, поскольку каковы бы ни были начальные условия, инфляционное расширение способно их сгладить согласованным с наблюдениями образом.

В-третьих, что представляет собой наиболее сильный аргумент, инфляционная гипотеза хорошо предсказывает наблюдения. Например, большое количество наблюдений космического микроволнового фона реликтового излучения и данные по распределению галактик подтверждают, что пространственные вариации энергии ранней Вселенной были практически масштабно-инвариантными.

## Против теории космологической инфляции

Первые сигналы того, что с теорией инфляции не все в порядке, – небольшие различия предсказаний этой теории и реальных наблюдательных данных. Существование отличий подрывает саму логическую основу всей теории. Действительно ли теория работает в идеальном соответствии с наблюдательными данными, как это было заявлено в 80-х гг. прошлого века? Можно ли расценивать предсказания теории инфляции тех лет как предсказания современной теории инфляции? Ответ на оба этих вопроса: нет.

Приведем аргументацию таких ответов. Рассмотрим утверждение о том, что во Вселенной инфляционная стадия неизбежна. Если это действительно так, то рождается закономерное размышление: ведь более вероятно реализация «плохой инфляции», нежели «хорошей инфляции». Под первым термином будем понимать такой период ускоренного расширения ранней Вселенной, чьи последствия в современной Вселенной находятся в явном противоречии с наблюдательными данными. Например, неприемлемы слишком большие разбросы температуры. Для того чтобы теория хорошо согласовыва-

лась с наблюдательными данными, различия, например, между «хорошими» и «плохими» теоретическими значениями на точной наблюдательной кривой потенциальной энергии должны быть очень малы. Теоретические значения контролируются большим набором параметров модели. В типичной инфляционной модели это различие должно быть около  $10^{-15}$  – ноль с 15 знаками после запятой. Хуже подогнанная инфляционная модель, ноль с 12, или десятью, или восемью знаками после запятой может уже быть «плохой инфляцией», в которой степень ускорения такая же (или больше), но температурные перепады больше наблюдаемых.

Мы можем игнорировать проблемы моделей «плохой инфляции», поскольку они явно несовместимы, например, с зарождением жизни во Вселенной. Другими словами, даже если где-то и могут возникать большие перепады температуры, мы все равно никогда не сможем их наблюдать. Апелляция к таким рассуждениям порождается так называемым антропным принципом. Однако в данном случае такие аргументы неприменимы. Большие перепады температур могли бы оказать влияние на большее число звезд и галактик, и Вселенная могла бы быть более населенной, чем наблюдаемая. Косвенные следствия говорят нам, что во Вселенной все-таки не было больших перепадов температур.

Не только «плохая инфляция» более вероятна, чем «хорошая инфляция», но мир вообще без инфляции более вероятен, чем мир с какой бы то ни было инфляцией. Впервые такая мысль была высказана Роджером Пенроузом (Roger Penrose) в 80-х гг. прошлого века. Ученый применил термодинамические принципы, сходные с предназначенным для описания конфигураций атомов и молекул газа, для подсчета всех возможных начальных конфигураций поля инфлатона и гравитационных полей. Некоторые из таких начальных данных ведут к наличию инфляционного расширения с образованием прак-

тически однородного распределения вещества в плоском пространстве-времени. Другие начальные условия приводят к однородной и плоской вселенной – без инфляционного расширения. Причем оба множества таких начальных условий невелики – другими словами, шансы получить плоскую однородную вселенную малы в любом случае. Кроме того, получение плоской вселенной без инфляции гораздо более вероятно, чем получение плоской вселенной путем инфляционного расширения.

## Риск вечной инфляции

Другой метод исследования ранней Вселенной, приводящий к схожим результатам, основан на экстраполяции истории Вселенной из ее современного состояния назад во времени с использованием известных физических законов. Результаты такого метода могут быть различны, т.е. экстраполяция не единственна: взяв в качестве начальных условий современную Вселенную, плоскую и однородную в среднем, мы можем получать различные цепочки событий в прошлом. Согласно моделированию, проведенному в 2008 г. Гэри Гиббонсом (Gary Gibbons) из Кембриджа и Нейлом Тьюроком (Neil Turok) из Института теоретической физики в Онтарио, подавляющее большинство экстраполированных в прошлое наблюдательностей событий не обладают инфляционной стадией, что согласуется с выводами Пенроуза. С одной стороны, оба сценария возможного развития нашей Вселенной без инфляции кажутся идущими вразрез с интуицией, потому что плоская и сглаженная Вселенная маловероятна, а инфляция – как раз тот механизм, который необходим для реализации подобного состояния. С другой стороны, указанные достоинства инфляции оказываются сильно подпорченными ее собственными маловероятными начальными условиями. Таким образом, если по возможности принять во внимание все доступные нам факторы, то получа-

ется, что Вселенная более вероятно приходит к сегодняшнему состоянию без инфляционной стадии.

Многие физики и космологи считают приведенные аргументы несостоятельными. Реальные наблюдения и эксперименты всегда весомее любых теоретических рассуждений, а вариант инфляционной теории, сформулированный в 1980-х гг., находится в соответствии с сегодняшними космологическими наблюдениями. Однако первые варианты инфляционной теории были во многом несовершенны, предоставляя ученым по большому счету только качественную картину расширения Вселенной, и к сегодняшнему дню инфляционные модели неоднократно пересматривались. Какой же модели лучше всего соответствуют в итоге наблюдательные данные?

Смена мировоззрения настала после введения Андреем Линде в космологию понятия «вечная инфляция» – раз начавшись, она никогда не закончится. Такая концепция основана на совмещении законов квантовой физики и законов ускоренного расширения Вселенной. Когда инфляция подходит к завершению, квантовые флуктуации немного запаздывают. Если в некоторой области пространства такие флуктуации достаточно малы, то инфляция в этой области заканчивается. Однако поскольку флуктуации случайны, найдутся области, где флуктуации оказываются достаточно большими для того, чтобы привносить существенную задержку окончания инфляционной стадии. Последние области крайне редки, поэтому у читателя может закрасться мысль, не стоит ли игнорировать их вообще. Ответ отрицательный, поскольку эти области инфляционно расширяются, продолжают стремительно расти и в считанные мгновения останавливают расширение тех областей, в которых инфляция уже закончилась. В результате получается гигантское пространство инфляционно расширяющегося мира, в котором плавают крошечные островки, заполненные горячим веществом

и излучением. Более того, инфляционно растущие области порождают инфляционно растущие области, каждая из которых представляет собой свой собственный мир, замкнутую вселенную. Если вас еще не сбива с толку такая картина, не беспокойтесь, дальше будет хуже.

Островки вещества не одинаковы. Согласно законам квантовой теории, какие-то из них сильно неоднородны, другие наоборот слишком сглажены. Неоднородность похожа на упомянутый выше сценарий «плохой инфляции», однако причины появления таких неоднородностей различны. «Плохая инфляция» происходит потому, что параметры, контролирурующие вид кривой, графика потенциальной энергии, слишком велики. Теперь же неоднородность может возникнуть за счет вечной инфляции и случайных квантовых флуктуаций безотносительно к величинам описывающих модель параметров.

Для более точных количественных оценок слово «некоторые» следует заменить на «бесконечное число». В мире с вечной инфляцией бесконечное число островков будут обладать свойствами, которые мы наблюдаем, но бесконечное же число не будут ими обладать. Эту идею хорошо сформулировал создатель теории инфляции Алан Гут: «В мире с вечной инфляцией все, что может случиться, случается, причем случается бесконечное число раз».

Правило наша Вселенная или исключение? В бесконечном множестве островков, каждый из которых есть отдельная вселенная, на этот вопрос трудно ответить. Представьте, что у вас есть ящик, в котором помещены белые и черные шары, и вы вытаскиваете их по одному. Если известно, сколько белых и сколько черных шаров было изначально, то вы всегда можете однозначно сказать, какой из них с большей вероятностью вы вытащите. Однако если их бесконечное количество, то ситуация резко меняется. Так, вы можете, доставая шары, сортировать их, чтобы одному черному соответствовал один

белый, и тогда вам будет казаться, что и тех и других в ящике поровну. Но вы можете сортировать их и так, чтобы на один черный шар приходилось по десять белых – и тогда ваша интуиция подскажет вам, что белых больше. Теория множеств дает ответ, что в случае сравнения двух бесконечностей неверны оба предположения. Таким образом, нельзя сказать, появление какого шара будет более вероятным. По этой причине невозможно предположить, какая вселенная будет наиболее вероятной, «типичной».

А вот сейчас пришло время сбить вас с толку по-настоящему. Что означают слова о том, что теория инфляции дает точные предсказания – например о том, что наша Вселенная однородна или что она обладает масштабными инвариантными флуктуациями, – коль скоро все равно все, что должно случиться, когда-нибудь будет и случится бесконечное число раз? А если теория не дает тестируемых предсказаний, как же космологи могут утверждать, что теория согласуется с наблюдениями, что они постоянно делали до сих пор?

## Мера наших ошибок

Теоретики подозревают о таких проблемах, но несмотря на четверть века активной работы с момента появления теории инфляции, ученые не теряют надежду решить все проблемы и сохранить эту плодотворную концепцию.

Предлагаются теории, альтернативные вечной инфляции, – например, вообще лишить эволюцию вселенной каких бы то ни было бесконечностей. Однако бесконечность – естественное следствие инфляции и квантовой физики. Чтобы избежать бесконечностей, модель Вселенной должна быть очень чувствительна к начальным особым условиям, а поле, генерирующее инфляцию, – обладать особым уравнением состояния. Инфляция должна происходить таким образом, чтобы заканчиваться повсюду в пространстве до того, как квантовые флуктуации получили бы



возможность ее продолжить. Однако такие требования нарушают саму концепцию инфляции, которая слабо чувствительна к состояниям, бывшим до ее начала.

Еще одна альтернативная стратегия подразумевает, что подобные нашей Вселенной островки вещества и излучения выступают как наиболее предпочтительный результат инфляции. Защитники такой модели вводят в рассмотрение так называемую меру, особое правило, согласно которому каждый мир обладает вероятностным весом, определяющим, какой из них предпочтительнее. Аналогия с черными и белыми шарами такова, что мы обязаны, например, на каждые три белых брать по пять черных шаров. Понятие меры – необоснованное допущение, что инфляция сама по себе ничего не объясняет и не предсказывает.

Хуже того, меры, равноправные с точки зрения теории, приводят к разным заключениям. Например, мера объема, согласно которой вселенные-островки должны обладать вероятностным весом согласно своим размерам. На первый взгляд, такой параметр разумен. Интуитивная идея, лежащая в основе инфляции, заключается в том, что инфляционное расширение объясняет наблюдаемые однородность и плоскостность за счет создания сверхбольших объемов пространства. К сожалению, введение такой меры объема ошибочно. Действительно, представьте себе два типа областей: островки-вселенные, подобные нашей, и другие островки, сформировавшиеся позднее, после того как инфляция увеличилась. По скорости экспоненциального роста более поздние области займут значительно большие объемы. Так, более молодые вселенные, чем наша, наиболее предпочтительны. Согласно мере объема, рождение нашей Вселенной оказывается очень маловероятным.

Энтузиасты использования мер не сдаются: перед тем как использовать придуманные ими меры, они проводят их тестирование,

чтобы в результате вероятность образования нашей Вселенной стала бы приемлемо большой. Пусть даже однажды и будет достигнут успех. Однако потом придется вводить другой принцип для проверки того, почему эта мера предпочтительнее всех остальных, потом следующий принцип для выбора такого принципа – и т.д.

Альтернативный подход – привлечение антропного принципа. При выборе меры полагается, что наша Вселенная – типичный островок в инфляционном море. Антропный принцип, напротив, полагает, что мы живем в очень нетипичном мире, обладающем минимальными условиями для существования жизни. Смысл антропного принципа

## БЕЗДНА БЕСКОНЕЧНОСТИ

Считается, что теория инфляции дает точные предсказания о строении нашей Вселенной, подтверждаемые наблюдениями. Действительно ли это так? Раз начавшись, инфляция продолжается за счет эволюции квантовых флуктуаций. Как только инфляция заканчивается, рождается замкнутый мир, подобный нашему, который продолжает расширяться. Наш мир не типичен, существует большое количество более молодых вселенных. Фактически образуется бесконечное число миров с бесконечным разнообразием свойств. Все, что может реализоваться, реализуется в одном из миров. Теория, которая предсказывает все, не предсказывает ничего



в том, что условия во всех типичных вселенных-островках несовместимы с образованием галактик, звезд или других структур, которые необходимы для зарождения жизни. Даже если типичные вселенные-островки занимают гораздо большие объемы, чем миры, подобные нашему, они должны быть проигнорированы, потому что мы интересуемся только теми областями, в которых может обитать человек.

К сожалению, в рамках этой идеи условия в нашей Вселенной для обитания человека должны быть хотя бы минимально благоприятны, а это не так: наша Вселенная более плоская, гладкая и масштабно инвариантная, чем это требуется для жизни. Более типичные островки, например те, что моложе, чем наш мир, почти одинаково пригодны для обитаемости и при этом гораздо более многочисленны.

## Пусть платят те, кто медлит

В свете предложенных аргументов ошибочно представление о том, что наблюдательные данные в космологии проверяют основные предсказания инфляционной теории. Все, что мы можем сказать, это что современные наблюдательные данные подтверждают предсказания простейшей инфляционной модели, предложенной в 1983 г., но эта теория – не то же самое, что современная инфляционная космология. В простейшей теории предполагается, что инфляция на базе только классической физики предсказывает эволюцию Вселенной. Однако правильная картина заключается в том, что инфляция образуется по законам квантовой физики и все, что может случиться, случается. Но если инфляционная теория не может давать точных предсказаний, в чем ее смысл?

Проблема в том, что режим откладывания конца инфляции не просто не «убыточен», а наоборот, даже предпочтителен. Области, в которых задерживается окончание инфляционной стадии, продолжают ускоренное экспоненциальное расширение. В идеальной

ситуации любая такая область будет расширяться с замедлением или даже сжиматься. Оставшаяся часть пространства тогда состояла бы из областей, в которых инфляция закончилась и, таким образом, наша наблюдаемая Вселенная принадлежала бы к их числу.

В качестве альтернативы инфляционной космологии автор статьи и его коллеги предложили теорию, называемую циклической. Согласно этой теории, Большой взрыв – не начало пространства и времени (см.: Венециано Г. *Миф о начале времен* // ВМН, № 8, 2004), а всего лишь «отскок» предыдущей фазы сжатия при переходе к новой фазе расширения, сопровождающейся рождением вещества и излучения. Теория циклическая, потому что через миллиарды лет Вселенная снова сожмется и произойдет новый отскок. Ключевая идея этой теории в том, что сглаживание происходило до Большого взрыва, в эпоху сжатия предыдущей фазы. Все запаздывающие области продолжают сжатие, в то время как другие области уже совершают отскок и начинают расширение – таким образом, первые области сравнительно малы и ими можно пренебречь.

Сглаживание при сжатии имеет наблюдательные следствия. Во время любой сглаженной фазы, неважно, в теории инфляции или в циклической теории, квантовые флуктуации генерируют малые, случайно распространяемые искажения пространства-времени, известные как космологические гравитационные волны, которые могут оставлять след в анизотропии фонового микроволнового реликтового излучения. Амплитуда этих волн пропорциональна плотности энергии. Инфляция могла бы начаться, когда Вселенная обладала максимальной плотностью, а эквивалентный процесс в циклической Вселенной мог бы произойти, когда Вселенная была практически пустой – таким образом, предсказываемые наблюдательные знаки у этих двух теорий должны быть существенно различны. Конеч-

но, циклическая теория относительно нова и может содержать много своих проблем, но она показывает, что в принципе существуют альтернативы, лишённые проблем вечной инфляции.

Итак, были представлены доводы за и против теории инфляции. Некоторые ученые полагают, что соображения, высказываемые против, подрывают ее основы и что она требует радикально пересмотра. Другие же считают, что требуется всего лишь доработка исходной теории инфляции.

Окончательное решение судьбы инфляционной теории дадут результаты наблюдений. В ближайшие несколько лет будут обнаружены данные о гравитационных волнах, полученные по исследованиям анизотропии реликтового излучения: обнаружение гравитационных волн могло бы поддержать теорию инфляции. Многие исследователи тяготеют к альтернативным концепциям, подобным циклической теории, которая предсказывает ненаблюдаемо малый сигнал от гравитационных волн. Будущее покажет, какая из теорий верна, и какая судьба ожидает нашу Вселенную.■

Перевод: О.С. Сажина

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Inflationary Universe. Alan Guth. Basic Books, 1998.
- Quantum Cosmology, Inflation, and the Anthropic Principle. Andrei Linde in Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology and Complexity. Edited by John D. Barrow, Paul C.W. Davies and Charles L. Harper, Jr. Cambridge University Press, 2004.
- Endless Universe: Beyond the Big Bang. Paul J. Steinhardt and Neil Turok. Doubleday, 2007.
- The Measure Problem in Cosmology. G.W. Gibbons and Neil Turok in Physical Review D, Vol. 77, No. 6, Paper No. 063516; March 2008.
- Рождение Вселенной // ВМН, № 7, 2005.