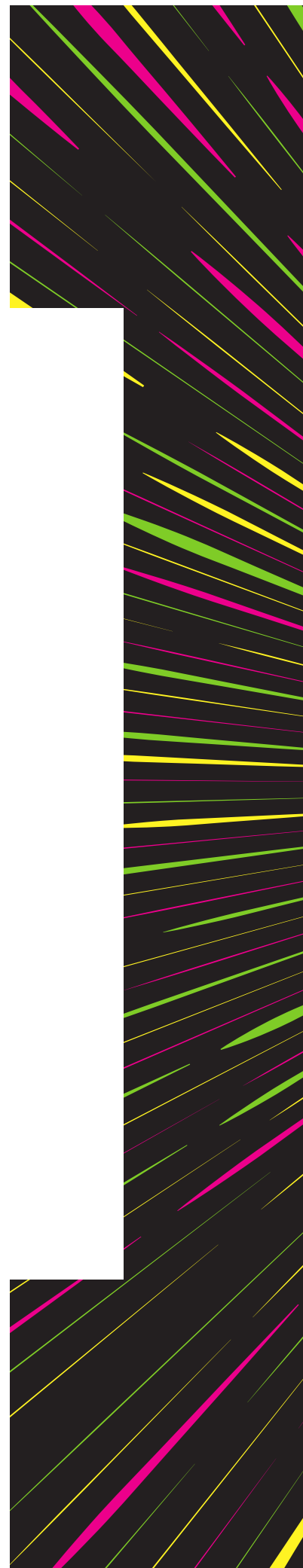
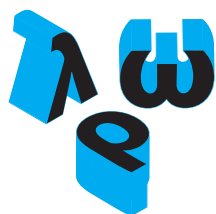
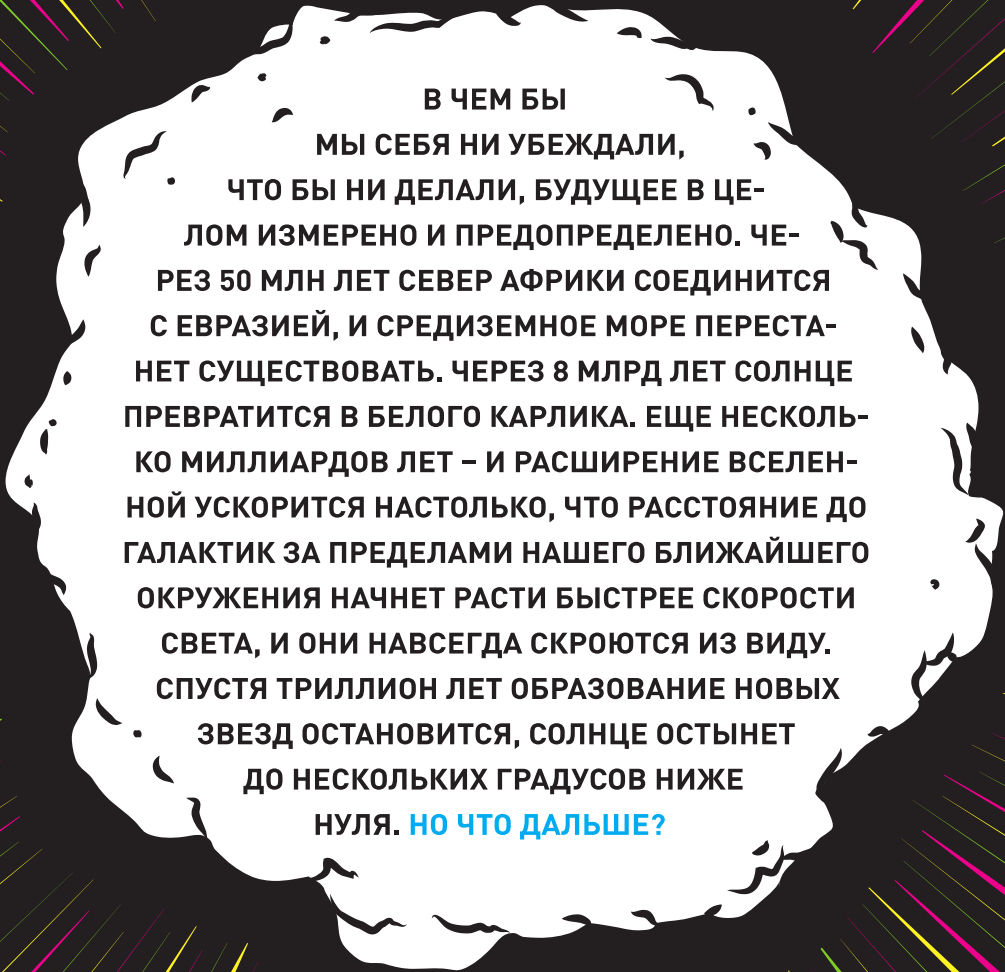




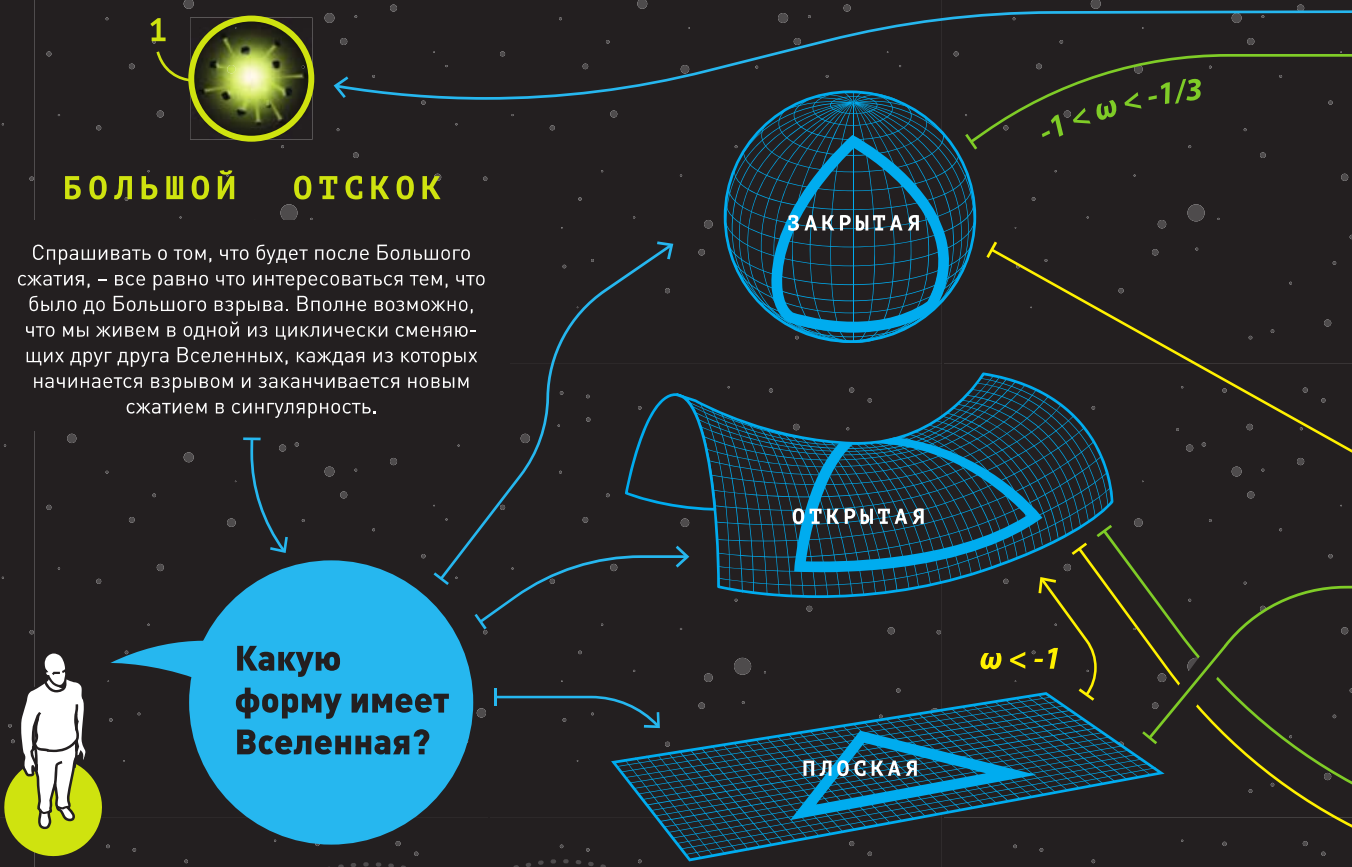
# КОНЕЦ ВСЕМУ

ЧЕТЫРЕ СПОСОБА УНИЧТОЖИТЬ  
ВСЕЛЕННУЮ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХ  
ГРЕЧЕСКИХ БУКВ





**В ЧЕМ БЫ  
МЫ СЕБЯ НИ УБЕЖДАЛИ,  
• ЧТО БЫ НИ ДЕЛАЛИ, БУДУЩЕЕ В ЦЕ-  
ЛОМ ИЗМЕРЕНО И ПРЕДПРЕДЕЛЕНО. ЧЕ-  
РЕЗ 50 МЛН ЛЕТ СЕВЕР АФРИКИ СОЕДИНИТСЯ  
С ЕВРАЗИЕЙ, И СРЕДИЗЕМНОЕ МОРЕ ПЕРЕСТА-  
НЕТ СУЩЕСТВОВАТЬ. ЧЕРЕЗ 8 МЛРД ЛЕТ СОЛНЦЕ  
ПРЕВРАТИТСЯ В БЕЛОГО КАРЛИКА. ЕЩЕ НЕСКОЛЬ-  
КО МИЛЛИАРДОВ ЛЕТ – И РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕН-  
НОЙ УСКОРИТСЯ НАСТОЛЬКО, ЧТО РАССТОЯНИЕ ДО  
ГАЛАКТИК ЗА ПРЕДЕЛАМИ НАШЕГО БЛИЖАЙШЕГО  
ОКРУЖЕНИЯ НАЧНЕТ РАСТИ БЫСТРЕЕ СКОРОСТИ  
СВЕТА, И ОНИ НАВСЕГДА СКРОЮТСЯ ИЗ ВИДУ.  
СПУСТЯ ТРИЛЛИОН ЛЕТ ОБРАЗОВАНИЕ НОВЫХ  
• ЗВЕЗД ОСТАНОВИТСЯ, СОЛНЦЕ ОСТЫНЕТ  
ДО НЕСКОЛЬКИХ ГРАДУСОВ НИЖЕ  
НУЛЯ. **НО ЧТО ДАЛЬШЕ?****



**БОЛЬШОЙ ОТСКОК**

Спрашивать о том, что будет после Большого сжатия, – все равно что интересоваться тем, что было до Большого взрыва. Вполне возможно, что мы живем в одной из циклически сменяющихся друг друга Вселенных, каждая из которых начинается взрывом и заканчивается новым сжатием в сингулярность.

**Какую форму имеет Вселенная?**

**ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ**

Вселенная расширяется с ускорением, и для объяснения этого факта физики-теоретики используют представление о темной энергии. По расчетам, на нее приходится около 73% общей массы-энергии нашего мироздания, но что именно она собой представляет, остается одной из самых больших загадок современной науки. В зависимости от ответа на нее, Вселенную ждут разные варианты гибели.

**Лямбда (λ). НЕСТАЦИОНАРНАЯ ВСЕЛЕННАЯ**

Вплоть до 1915 года Вселенная не менялась. Пространство и время считались вечными и бесконечными, неизменными, как сцена, на которой разворачиваются великие драмы физики и человеческой жизни. Однако появившаяся сто лет назад общая теория относительности изменила все. Она связала гравитацию с деформациями пространства-времени. Сама ткань космоса может изменяться, реагировать на материю и энергию. Это значит, что когда-то у нее было начало и когда-нибудь наступит конец. Первым этот переворот почувствовал еще Эйнштейн, выводя математическую формулировку своей теории, – почувствовал, но сам не осознал произошедшей революции.

Для того чтобы полученные им уравнения сохраняли неподвижность статичной Вселенной, ученый уравновесил их дополнительным членом, космологической постоянной  $\lambda$  (лямбда). От непонятной, неизвестно откуда берущейся буквы Эйнштейн пытался избавиться упорно, вплоть до начала 1920-х, когда российский физик Александр Фридман взглянул на проблему под новым углом и показал, что лямбда-член вовсе не был ошибкой или лишней деталью, просто Вселенная нестационарна и будет либо сжиматься, либо расширяться. Уже к концу того же десятилетия удалось подтвердить, что мы живем именно во фридмановском мире.

Измерив спектры далеких галактик, Жорж Леметр и Эдвин Хаббл обнаружили, что те разлетаются в сто-

## БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

Закрытая Вселенная конечного размера будет увеличиваться еще порядка 50 млрд лет, после чего расширение сменится сжатием. Еще через 60 млрд лет температура фонового излучения станет так велика, что никакая жизнь будет невозможна. Затем галактики сольются, столкнутся звезды, коллапсируют атомы – и Вселенная снова станет сингулярностью бесконечной массы и энергии.

$\omega < -1$   
Бесконечно существующая Вселенная

$-1 < \omega < -1/3$



Финал наступит быстрее

$-1 < \omega < -1/3$

$\omega < -1$

Финал наступит медленнее

роны, удаляясь друг от друга. Казалось, что надобность в лямбде отпала: Вселенная расширяется, и космологическая константа указывает на это расширение. Конечный итог этого процесса в такой модели определяется гравитацией, а значит – массой Вселенной.

Если ее достаточно, то притяжение останется довольно сильным и в конце концов пространство начнет коллапсировать, словно при Большом сжатии, искривляясь все сильнее, пока снова не превратится в сингулярность. В противном случае победит расширение, и космос будет увеличиваться до бесконечности. Размазанная по нему материя со временем распределится хаотически и полностью равномерно, остыв и обеспечив тепловую смерть Вселенной – максимальную энтропию вечной и мертвой пустыни, Большое замерзание.

## БОЛЬШОЕ ЗАМЕРЗАНИЕ

Второе начало термодинамики постулирует, что энтропия в системе убывать не может, и при наличии достаточного времени даже Вселенная достигнет равномерного распределения температуры и энергии. В таком состоянии она будет заполнена черными дырами, которые поглотят всю материю, и ничего больше в ней не произойдет: космос придет к «тепловой смерти».

## БОЛЬШОЙ РАЗРЫВ

Если плотность темной энергии в бесконечно расширяющейся Вселенной также будет расти, скорость ее расширения будет и дальше увеличиваться. Рано или поздно притяжение больше не сможет удерживать вместе галактики, звезды и планеты, затем распадутся на части сами небесные тела, пока вся материя не развалится на фундаментальные частицы.

## ЛОЖНЫЙ ВАКУУМ

Возможно, что минимальная энергия физического вакуума ниже, чем наблюдаемая во Вселенной, и тот вакуум, который мы наблюдаем – «ложный». Тогда случайно возникший участок «истинного» вакуума с еще более низкой энергией может стремительно охватить весь космос, заставив его туннелировать к своему состоянию и меняя базовую физику нашего мира. Вселенная погибнет быстро и без всякого предупреждения.

## PO (P). РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Общая гравитирующая масса Вселенной зависит от ее плотности. Расширение сменится схлопыванием, если средняя плотность  $\rho$  (греч. «ро») больше критического значения  $\rho_c$ . В этом варианте спустя многие миллиарды лет Большое сжатие объединит все звезды в единую огромную галактику. Температура фонового излучения повысится до комнатной, а затем и выше, пока оно не затмит свет оставшихся звезд. Сами звезды и газопылевые облака коллапсируют, раскаленные атомы распадутся на части, протоны и нейтроны развалятся на кварки – словно при просмотре истории Большого взрыва задом наперед.

Кстати, из общей теории относительности мы помним, что масса должна создавать положительную кривизну пространства-времени. Одним из свойств такого космоса будет геометрия, отличающаяся от Евклидовой: если он хотя бы слегка искривлен наружу, то сумма углов любого треугольника окажется слегка, но больше  $180^\circ$ , как в геометрии Римана, которая соответствует фигурам на поверхности сферы. Итак, при  $\rho > \rho_c$  пространство будет замкнутым и с положительной кривизной, наподобие сферы, а его расширение закончится сжатием и новым коллапсом в сингулярность.

Однако если средняя плотность пространства окажется меньше критической, то его кривизна будет отрицательной, как в геометрии Лобачевского, а сумма углов треугольника – меньше  $180^\circ$ . Такая открытая Вселенная должна иметь седловидную форму гиперboloида и расширяться бесконечно. И лишь при точном равенстве  $\rho$  и  $\rho_c$  мир будет открытой плоскостью, а геометрия его должна аккуратно соответствовать аксиомам Евклида.

Все эти три модели Вселенной появились еще в работах Фридмана, так что по большому счету оставалось выяснить действительную геометрию космоса. Отклонение суммы углов треугольника должно проявляться тем значительнее, чем больше его площадь, и заметить его легче всего, если измерить треугольник, образованный максимально далекими небесными объектами, – и реальные наблюдения показали, что выкладки Евклида с большой точностью справедливы.



**СЕРГЕЙ ОДИНЦОВ**

ДОКТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК, КОСМОЛОГ (КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАРСЕЛОНЕ):

«ВЫБОР ТОГО ИЛИ ИНОГО СЦЕНАРИЯ БУДУЩЕГО ДЛЯ ВСЕЛЕННОЙ ЗАВИСИТ ОТ ТОГО, КАКАЯ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕОРИЙ ПРАВИЛЬНО ОПИСЫВАЕТ ЕЕ ЭВОЛЮЦИЮ. ЭТО МОЖЕТ БЫТЬ И САМАЯ ПОПУЛЯРНАЯ СЕГОДНЯ МОДЕЛЬ ЛЯМБДА-CDM, И ОДНА ИЗ МОДИФИКАЦИЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ ЭЙНШТЕЙНА, К ЧЕМУ СКЛОНЯЮСЬ ЛИЧНО Я. ЕСЛИ ЗНАЧЕНИЕ ОМЕГИ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ ГОВОРIT О ФАНТОМНОЙ ЭНЕРГИИ ИЛИ КВИНТЭССЕНЦИИ, ТО САМЫМ ВЕРОЯТНЫМ ЕЕ ФИНАЛОМ БУДЕТ КОНЕЧНАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ БОЛЬШОГО РАЗРЫВА ИЛИ ОДНОГО ИЗ ТРЕХ ТИПОВ «МЯГКОЙ» СИНГУЛЯРНОСТИ. МЫ ПРИБЛИЗИМСЯ К НЕЙ ЗА 30–50 МЛРД ЛЕТ, А УЖЕ ЗА НЕСКОЛЬКО ДЕСЯТКОВ МИЛЛИОНОВ ДО ТОГО НАЧНЕТСЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ РАСПАД ЕЕ ОБЪЕКТОВ: ЧЕРНЫХ ДЫР, ЗВЕЗД, МОЛЕКУЛ, АТОМОВ... ВЕРОЯТНО, ЧТО ИТОГОВАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ – ОСОБЕННО «МЯГКАЯ» – ПРИВЕДЕТ К ОБРАЗОВАНИЮ НОВОЙ ВСЕЛЕННОЙ».

### ОМЕГА ( $\Omega$ ). УСКОРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Скорее всего, мы живем в открытом и плоском мире, где сумма углов треугольника составляет строго  $180^\circ$ , а плотность  $\rho$  равна критической ( $\rho_c$ ). Исходя из скорости разлета звезд, можно даже посчитать значение  $\rho_c$  ( $9,31 \cdot 10^{-27}$  кг/м<sup>3</sup>), что соответствует содержанию примерно 5,5 атомов водорода в каждом кубическом метре пространства. Зная скорость расширения, мы можем оценить и возраст Вселенной, который окажется... меньше, чем возраст самых старых из известных нам звезд. Объяснить это помогли новые революционные находки, сделанные уже в 1990-х.

К тому времени астрономические инструменты впервые позволили измерить спектры экстремально далеких сверхновых типа Ia. Их максимальная светимость точно известна и обоснована хорошей теорией, поэтому наблюдаемая яркость позволяет точно оценить расстояние до сверхновой. Следя за ними, команды Сола Перлмуттера, Брайана Шмидта и Адама Рисса обнаружили, что расширение космоса со временем ускоряется. Снова всплыла та самая лямбда, а во Вселенной обнаружилась сила, не только противодействующая гравитации, но и явно ее побеждающая.

В самом деле, плотность вещества в космосе со временем уменьшается, влияние гравитации падает, но энергия расширения – за таинственность ее называют «темной энергией» – как будто становится все значительнее. Неудивительно, что уже к моменту обнаружения ускоряющегося расширения Вселенной космологическую константу стали связывать с энергией самого вакуума. С точки зрения физики это особая среда, которая находится в низшем энергетическом состоянии и не содержит никаких частиц. Вследствие квантовых эффектов вакуум может проявлять некоторые очень необычные свойства – например, в отличие от системы из реальных частиц, он имеет положительную плотность энергии, но отрицательное давление.

Здесь нам понадобится третья (и последняя) греческая буква, омега, которой обозначают отношение давления среды к ее энергии. Легко представить, что чем больше энергия, например, фотонов, тем выше давление излучения: его  $\omega$  положительна. Для вакуума же  $\omega$  равна  $-1$ , он создает отрицательную гравитацию, набирая мощь, как система с положительной обратной связью. Чем сильнее увеличивается пространство, тем больше в нем вакуума и тем заметнее его стремление расширяться. Неудивительно, что при постоянном количестве материи его влияние во Вселенной становится все заметнее.

### РАЗНЫЕ СИНГУЛЯРНОСТИ

Рано или поздно расширение обгонит скорость света. Гравитация еще некоторое время удерживать вместе космические объекты, но в итоге расстояние между скоплениями галактик будет расти так быстро, что они больше не смогут взаимодействовать друг с другом и окажутся разделены горизонтом событий; затем та же судьба ждет индивидуальные галактики, звезды и планеты, пока вся Вселенная не погибнет тепловой смертью, продолжая свой бесконечный и уже бессмысленный рост.

Как и плотность, величина омеги определена достаточно точно, и она действительно близка к  $-1$ . Близка, но не совсем надежно, и чем сильнее омега в действительности отклоняется от этого значения, тем ближе другой сценарий финальной катастрофы. Если она меньше  $-1$ , то отрицательное «антигравитационное» давление темной энергии больше, чем у вакуума. Такую модель называют фантомной энергией, и приводит она к Большому разрыву, при котором даже отдельные частицы становятся крупнее сжавшегося горизонта событий, а ткань пространства разрушается, заканчиваясь сингулярностью.

Впрочем, омега может быть и немногим больше  $-1$ , что соответствует модели квинтэссенции. Она представляет темную энергию как частицеподобные колебания некоего скалярного поля, наподобие потенциальной энергии в поле ньютоновского притяжения. Отрицательное давление квинтэссенции меньше, чем у вакуума. А ведь существуют и другие интерпретации темной энергии – например, проявление скрытых свойств гравитации, которые выходят за пределы Общей теории относительности так же, как сама она вышла за пределы закона тяготения Ньютона.

Некоторые модели предсказывают иную картину Большого разрыва, при которой космос приближается к одному из трех типов «мягкой» сингулярности, описанных недавно Сергеем Одинцовым и его коллегами. В отличие от «большой», они смогут сохранить некоторые фундаментальные свойства исходной Вселенной, и если в будущем (как предполагают некоторые теоретики) из них родятся новые миры, часть их будет нести отпечаток нашего. Но какой бы сценарий ни реализовался в будущем, будь то Большое сжатие, замерзание или разрыв с образованием одной или множества сингулярностей, его отпечаток уже проступает все в тех же греческих буквах. Наблюдая за космосом, получая все более и более точные значения плотности, скорости расширения и других базовых свойств Вселенной, мы сможем уточнить и природу темной энергии, и то, какой она готовит всему конец.