

МИХАИЛ ПРОХОРОВ, доктор физико-математических наук

Вселенная как додекаэдр

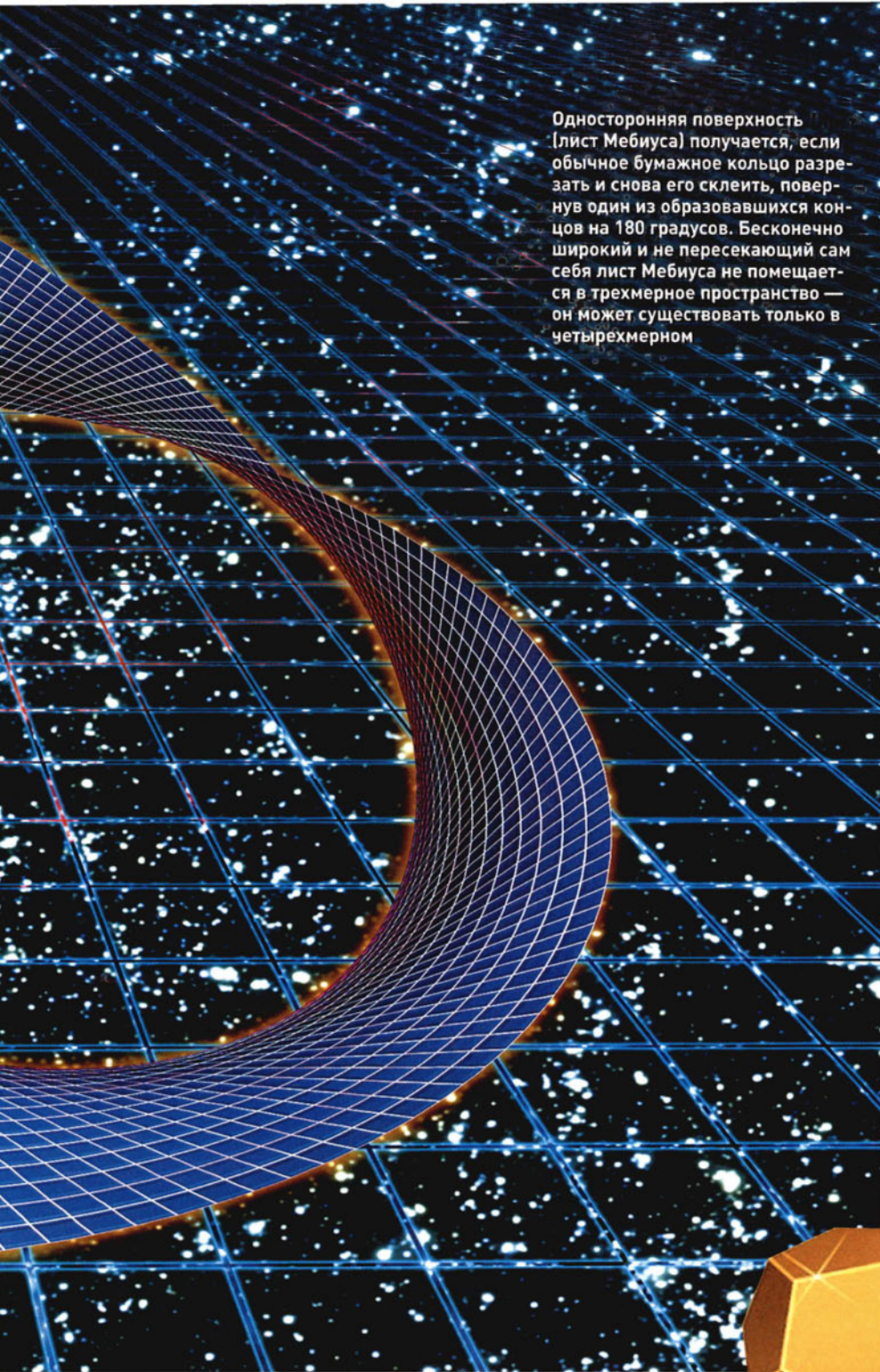
Гипотеза о том, что наша Вселенная родилась в результате Большого взрыва, сейчас считается общепринятой. Материя вначале была очень горячей, плотной и быстро расширялась. Затем температура Вселенной понизилась до нескольких тысяч градусов. Вещество в этот момент состояло из электронов, протонов и альфа-частиц (ядер гелия), то есть представляло собой сильно ионизированный газ — плазму, непрозрачную для света и любых электромагнитных волн. Начавшаяся в это время рекомбинация (соединение) ядер и электронов, то есть образование нейтральных атомов водорода и ге-

лия, кардинально изменила оптические свойства Вселенной. Она стала прозрачной для большинства электромагнитных волн.

Таким образом, изучая свет и радиоволны, можно увидеть только то, что произошло после рекомбинации, а все то, что случилось раньше, закрыто от нас своеобразной «огненной стеной» ионизованного вещества. Заглянуть гораздо глубже в историю Вселенной можно только в том случае, если мы научимся регистрировать реликтовые нейтрино, для которых горячее вещество стало прозрачным гораздо раньше, и первичные гравитационные волны, для которых материя любой плотности — не преграда, од-

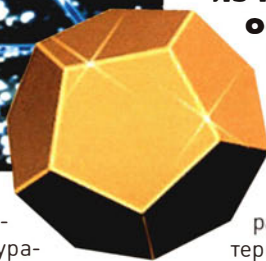
нако это дело будущего, причем далеко не самого близкого.

С момента образования нейтральных атомов наша Вселенная расширилась примерно в 1 000 раз, и излучение эпохи рекомбинации сегодня наблюдается на Земле как реликтовый микроволновый фон с температурой около трех градусов Кельвина. Этот фон, впервые обнаруженный в 1965 году при испытаниях большой радиоантенны, практически одинаков во всех направлениях. По современным данным, реликтовых фотонов в сто миллионов раз больше, чем атомов, поэтому наш мир просто купается в потоках сильно покрасневшего света, излученного еще в самые первые минуты жизни Вселенной.



Односторонняя поверхность (лист Мебиуса) получается, если обычное бумажное кольцо разрезать и снова его склеить, повернув один из образовавшихся концов на 180 градусов. Бесконечно широкий и не пересекающий сам себя лист Мебиуса не помещается в трехмерное пространство — он может существовать только в четырехмерном

В стародавние времена люди думали, что Земля плоская и стоит на трех китах, затем выяснилось, что наша ойкумена круглая и, если плыть все время на запад, то через некоторое время вернешься в исходную точку с востока. Похожим образом изменялись и воззрения на Вселенную. В свое время Ньютон полагал, что пространство плоское и бесконечное. Эйнштейн разрешил нашему Миру быть не только безграничным и кривым, но и замкнутым. Новейшие данные, полученные в процессе исследования реликтового излучения, свидетельствуют о том, что Вселенная вполне может быть замкнута сама на себя. Получается, что если все время лететь от Земли, то в какой-то момент начнешь к ней приближаться и в конце концов вернешься назад, обойдя всю Вселенную и совершив кругосветное путешествие, подобно тому, как один из кораблей Магеллана, обогнув весь земной шар, приплыл в испанский порт Санлукар-де-Баррамеда.



КЛАССИЧЕСКАЯ ТОПОЛОГИЯ ПРОСТРАНСТВА

На масштабах больших, чем 100 мегапарсек, видимая нами часть Вселенной достаточно однородна. Все плотные сгустки материи — галактики, их скопления и сверхскопления — наблюдаются только на меньших расстояниях. Более того, Вселенная к тому же изотропна, то есть ее свойства одинаковы вдоль любого направления. Эти экспериментальные факты лежат в основе всех классических космологических моделей, в которых предполагаются сферическая симметрия и пространственная однородность распределения вещества.

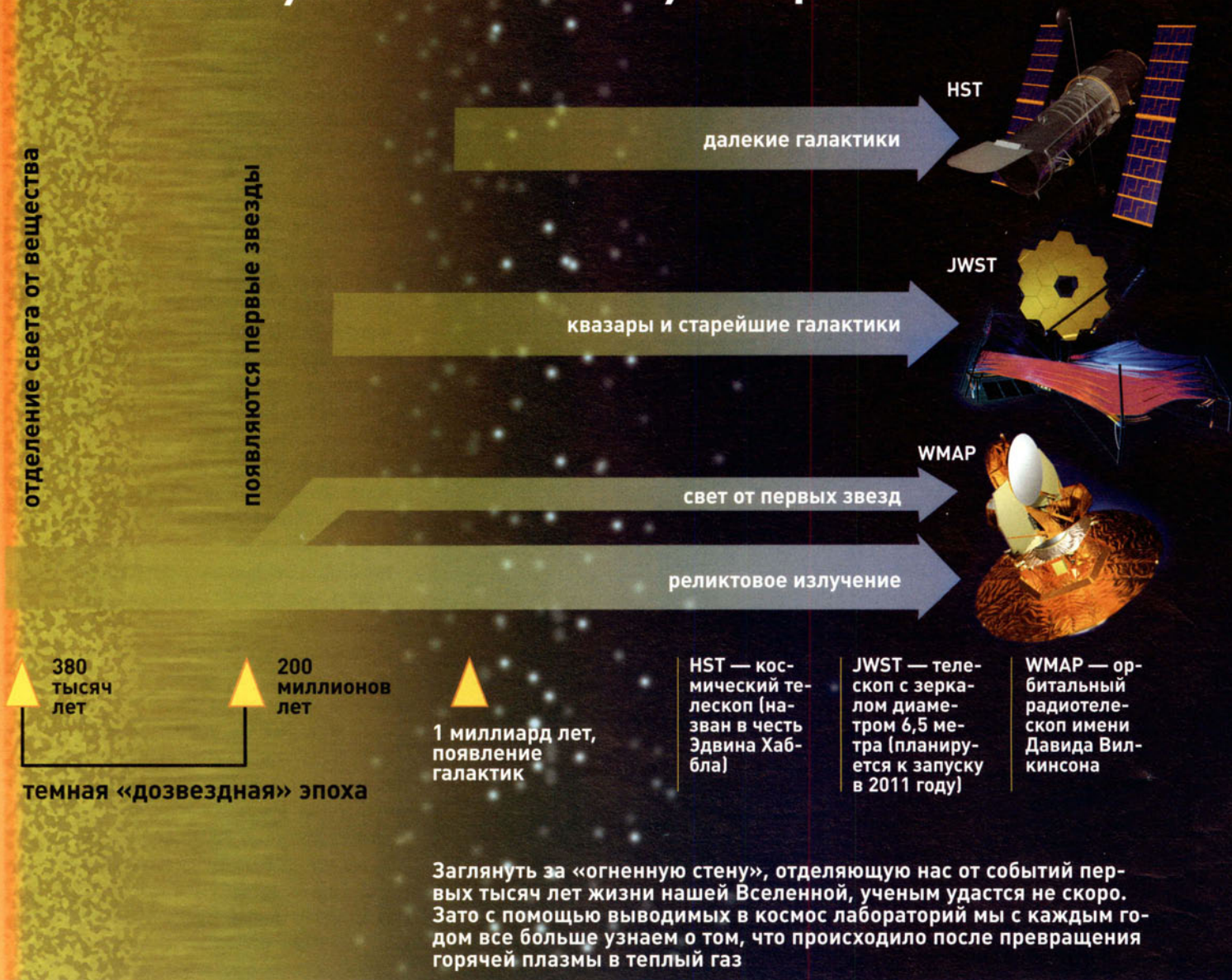
Классические космологические решения уравнений общей теории относительности Эйнштейна (ОТО), которые были найдены в 1922 году Александром Фридманом, имеют простейшую топологию. Их пространственные сечения напоминают плоскости (для бесконечных решений) или сферы (для ограниченных решений). Но у подобных вселенных, оказывается, существует альтернатива: не имеющая краев и границ, замкнутая сама на себя вселенная конечного объема.

Первые решения, найденные Фридманом, описывали вселенные, заполненные только одним сортом вещества. Различные картины возникали из-за

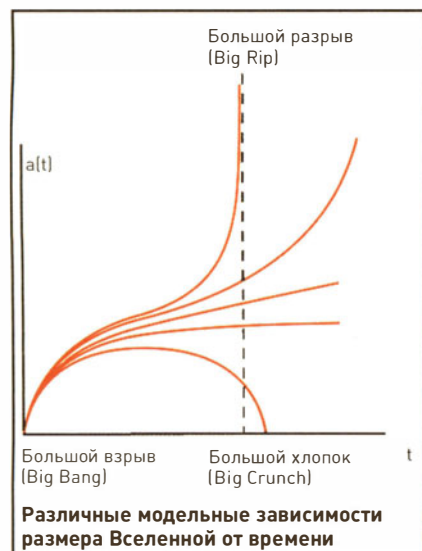
разницы в средней плотности материи: если она превышала критический уровень, получалась замкнутая вселенная с положительной пространственной кривизной, конечными размерами и временем жизни. Ее расширение постепенно замедлялось, останавливалось и сменялось сжатием в точку. Вселенная с плотностью ниже критической имела отрицательную кривизну и бесконечно расширялась, скорость ее раздувания стремилась к некоторой постоянной величине. Эта модель называется открытой. Плоская Вселенная — промежуточный случай с плотностью, точно равной критической, — бесконечна и ее мгновенные пространственные сечения являются ▶

ПЛАНЕТАРИЙ

Кто и как глубоко может заглянуть в прошлое Вселенной?



О Вселенной в целом сегодня известно больше, чем о внутреннем строении Земли



плоским евклидовым пространством с нулевой кривизной. Плоская, так же как и открытая, расширяется бесконечно долго, но скорость ее расширения при этом стремится к нулю. Позднее были придуманы более сложные модели, в которых однородная и изотропная вселенная была заполнена многокомпонентным веществом, видоизменяющимся со временем.

Современные наблюдения показывают, что сейчас Вселенная расширяется с ускорением (см. «За горизонтом вселенских событий», № 3, 2006). Такое поведение возможно, если пространство заполнено неким веществом (называемым часто темной энергией) с высоким отрицательным давлением, близким к плотности энергии этого вещества. Это свойство темной энергии приводит к возникновению как бы ан-

тигравитации, которая преодолевает на больших масштабах силы притяжения обычной материи. Первая подобная модель (с так называемым лямбда-членом) была предложена еще самим Альбертом Эйнштейном.

Особый режим расширения Вселенной возникает, если давление этой материи не остается постоянным, а возрастает со временем. В этом случае увеличение размеров нарастает настолько быстро, что Вселенная становится бесконечной за конечное время. Такое резкое раздувание пространственных размеров, сопровождаемое разрушением всех материальных объектов, от галактик до элементарных частиц, получило название Большого разрыва (Big Rip).

Все эти модели не предполагают каких-либо особых топологических свойств у Вселенной и представляют ее похожей на наше привычное пространство. Такая картина хорошо согласуется с теми данными, которые ас-

трономы получают с помощью телескопов, регистрирующих инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое и рентгеновское излучения. И только данные радионаблюдений, а именно детальное изучение реликтового фона, заставили ученых усомниться в том, что наш мир устроен столь прямолинейно.

ОРБИТАЛЬНЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

Первые результаты, полученные космической обсерваторией WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), измерявшей мощность реликтового излучения, были опубликованы в январе 2003 года и содержали так много долгожданной информации, что ее осознание не завершено и сегодня. Обычно для объяснения новых космологических данных используют физику: уравнения состояния вещества, законы расширения и спектры начальных возмущений. Но в этот раз характер обнаруженной угловой неоднородности излучения потребовал совсем другого объяснения — геометрического. Более же точно — топологического.

Основной целью WMAP было построение подробной карты температуры реликтового излучения (или, как его еще называют, микроволнового фона). WMAP — это сверхчувствительный радиоприемник, одновременно регистрирующий сигналы, приходящие из двух почти диаметрально противоположных точек неба. Обсерватория была запущена в июне 2001 года на особо спокойную и «тихую» орбиту, находящуюся в так называемой лагранжевой точке L2 в полутора миллионах километров от Земли. Этот спутник весом 840 кг на самом деле находится на окосолнечной орбите, однако благодаря совместному действию гравитационных полей Земли и Солнца период его обращения в точности равен одному году, и он никуда не улетает от Земли. На такую далекую орбиту спутник был запущен для того, чтобы помехи от земной техногенной активности не мешали приему реликтового радиоизлучения.

На основе полученных космической радиообсерваторией данных удалось с беспрецедентной точностью определить огромное количество космологических параметров. Во-первых, отношение полной плотности Вселенной к критической — $1,02 \pm 0,02$ (то есть наша Вселенная плоская или замкнутая с очень малой кривизной). Во-вторых, постоянную Хаббла, характеризующую расширение нашего Мира на больших масштабах, — 72 ± 2 км/с/Мпк. В-третьих, возраст Вселенной — $13,4 \pm 0,3$ млрд. лет и красное смещение, соответствующее времени рекомбинации, — 1088 ± 2 (это среднее значение,

толщина границы рекомбинации существенно больше указанной ошибки). Наиболее сенсационным для теоретиков результатом стал угловой спектр возмущений реликтового излучения, точнее, слишком маленькая величина второй и третьей гармоники.

Такой спектр строится путем представления температурной карты в виде суммы различных сферических гармоник (мультиполей). При этом из общей картины возмущений выделяются переменные составляющие, укладываемые на сфере целое число раз: квадруполь — 2 раза, октуполь — 3 раза, и так далее. Чем выше номер сферической гармоники, тем более высокочастотные колебания фона она описывает и тем меньше угловой размер соответствующих «пятен». Теоретически число сферических гармоник бесконечно, но для реальной карты наблюдений оно ограничивается тем угловым разрешением, с которым проводились наблюдения.

Для корректного измерения всех сферических гармоник необходима карта всей небесной сферы, и WMAP получает ее верифицированный вариант как раз за год. Первые такие не очень подробные карты были получены в 1992 году в экспериментах «Реликт» и COBE (Cosmic Background Explorer).

НЕОЖИДАННОЕ РЕШЕНИЕ

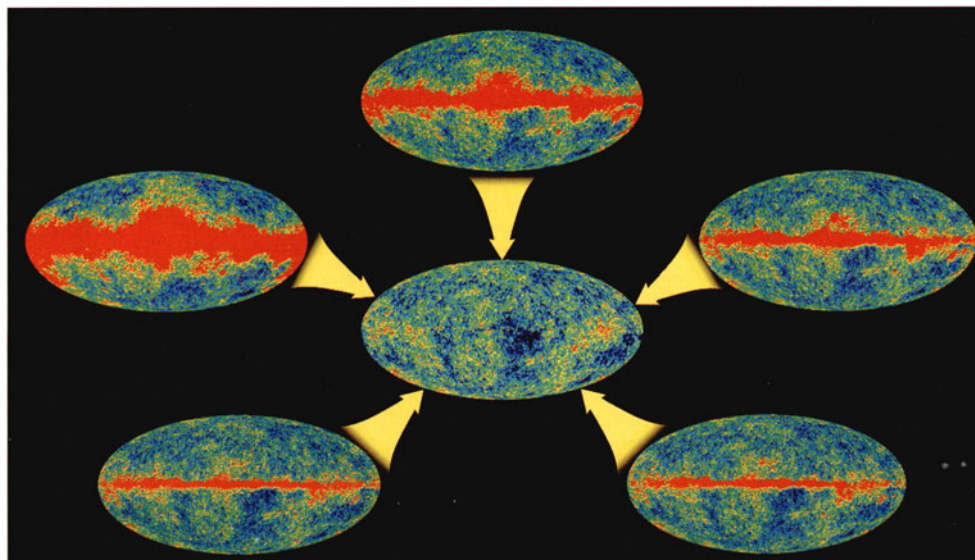
Для большинства сферических гармоник полученные экспериментальные данные совпали с модельными расчетами. Только две гармоники, квадруполь и октуполь, оказались явно ниже ожидаемого теоретиками уровня. Причем вероятность того, что столь▶



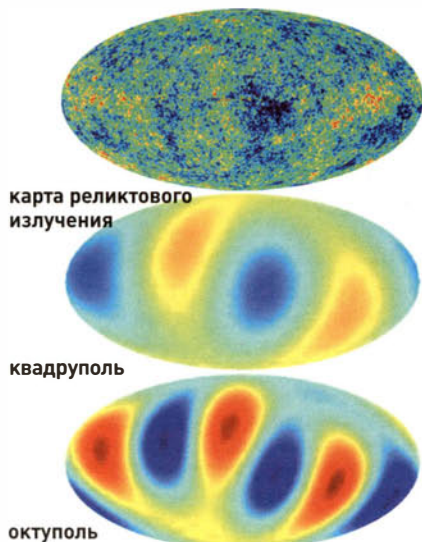
Так выглядит двумерный изогнутый тор конечных размеров

ЧЕМ БУБЛИК ПОХОЖ НА КОФЕЙНУЮ ЧАШКУ

Есть такой раздел математики — топология, которая исследует свойства тел, сохраняющиеся при любых их деформациях без разрывов и склеек. Представьте себе, что интересующее нас геометрическое тело гибкое и легко деформируется. В этом случае, например, куб или пирамиду можно легко преобразовать в сферу или бутылку, тор («бублик») — в кофейную чашку с ручкой, а вот превратить сферу в чашку с ручкой не удастся, если не разрывать и не склеивать данное легко деформируемое тело. Для того чтобы разделить сферу на два несвязанных кусочка, достаточно провести один замкнутый разрез, а сделать то же самое с тором можно, лишь произведя два разреза. Топологи просто обожают всякого рода экзотические конструкции типа плоского тора, рога-той сферы или бутылки Клейна, которые можно корректно изобразить только в пространстве с вдвое большим числом измерений. Так и нашу трехмерную Вселенную, замкнутую саму на себя, можно себе легко представить, только живя в шестимерном пространстве. На время космические топологи пока не покушаются, оставляя ему возможность просто линейно течь, ни на что не замыкаясь. Так что умения работать в пространстве семи измерений сегодня вполне достаточно для понимания того, как сложно устроена наша додекаэдрическая Вселенная.



Итоговая карта температуры реликтового излучения строится на основе кропотливого анализа карт, отображающих интенсивность радиоизлучения в пяти различных частотных диапазонах



Используя ряды Фурье, можно и среди кажущегося хаоса найти закономерности

КАРТА АНИЗОТРОПИИ

Упомянувшийся в тексте статьи квадруполь не является самой низкой сферической гармоникой. Кроме него существуют монополь (нулевая гармоника) и диполь (первая гармоника). Величина монополя определяется средней температурой реликтового излучения, которая сегодня равняется 2,728 К. После его вычитания из общего фона самой большой оказывается дипольная компонента, показывающая, насколько температура в одной из полусфер окружающего нас пространства выше, чем в другой. Наличие этой компоненты вызвано в основном движением Земли и Млечного Пути относительно реликтового фона. Из-за эффекта Доплера температура в направлении движения повышается, а в противоположном — понижается. Данное обстоятельство позволит определить скорость любого объекта по отношению к реликтовому излучению и таким образом ввести долгожданную абсолютную систему координат, локально покоящуюся по отношению ко всей Вселенной.

Величина дипольной анизотропии, связанная с движением Земли, составляет $3,353 \cdot 10^{-3}$ К. Это соответствует движению Солнца относительно фона реликтового излучения со скоростью около 400 км/с. «Летим» мы при этом в направлении границы созвездий Льва и Чаша, а «улетаем» из созвездия Водолея. Наша Галактика вместе с локальной группой галактик, куда она входит, движется относительно реликта со скоростью около 600 км/с.

Все остальные возмущения (начиная с квадрупольной и выше) на карте фона вызваны неоднородностями плотности, температуры и скорости вещества на границе рекомбинации, а также радиоизлучением нашей Галактики. После вычитания дипольной компоненты суммарная амплитуда всех остальных отклонений оказывается всего $18 \cdot 10^{-6}$ К. Для исключения собственного излучения Млечного Пути (в основном сосредоточенного в плоскости галактического экватора) наблюдения микроволнового фона ведутся в пяти частотных полосах в диапазоне от 22,8 ГГц до 93,5 ГГц.

большие отклонения могли возникнуть случайно, крайне мала. Подавление квадрупольной и октупольной было отмечено еще в данных COBE. Однако карты, полученные в те годы, имели плохое разрешение и большие шумы, поэтому обсуждение этого вопроса было отложено до лучших времен.

По какой причине амплитуды двух самых крупномасштабных флуктуаций интенсивности реликтового излучения оказались столь маленькими, вначале было совершенно непонятно. Придумать физический механизм для их подавления пока не удалось, поскольку он должен действовать на масштабе всей наблюдаемой нами Вселенной, делая ее более однородной, и при этом переставать работать на меньших масштабах, позволяя ей флуктуировать сильнее. Наверное, поэтому начали искать альтернативные пути и нашли топологический ответ на возникший вопрос.

Математическое решение физической проблемы оказалось удивительно изящным и неожиданным: достаточно было предположить, что Вселенная — замкнутый сам на себя додекаэдр. Тогда подавление низкочастотных гармоник можно объяснить пространственной высокочастотной модуляцией фонового излучения. Этот эффект возникает за счет многократного наблюдения одной и той же области рекомбинирующей плазмы через разные участки замкнутого додекаэдрического пространства. Получается, что низкие гармоники как бы гасят сами себя за счет прохождения радиосигнала через разные грани Вселенной. В такой топологической модели мира события, происходящие вблизи одной из граней додекаэдра, оказываются рядом и с

противоположной гранью, поскольку эти области тождественны и на самом деле являются одной и той же частью Вселенной. Из-за этого реликтовый свет, приходящий на Землю с диаметрально противоположных сторон оказывается излученным одной и той же областью первичной плазмы. Это обстоятельство приводит к подавлению низших гармоник спектра реликтового излучения даже во Вселенной лишь немногим большей по размеру горизонта видимых событий.

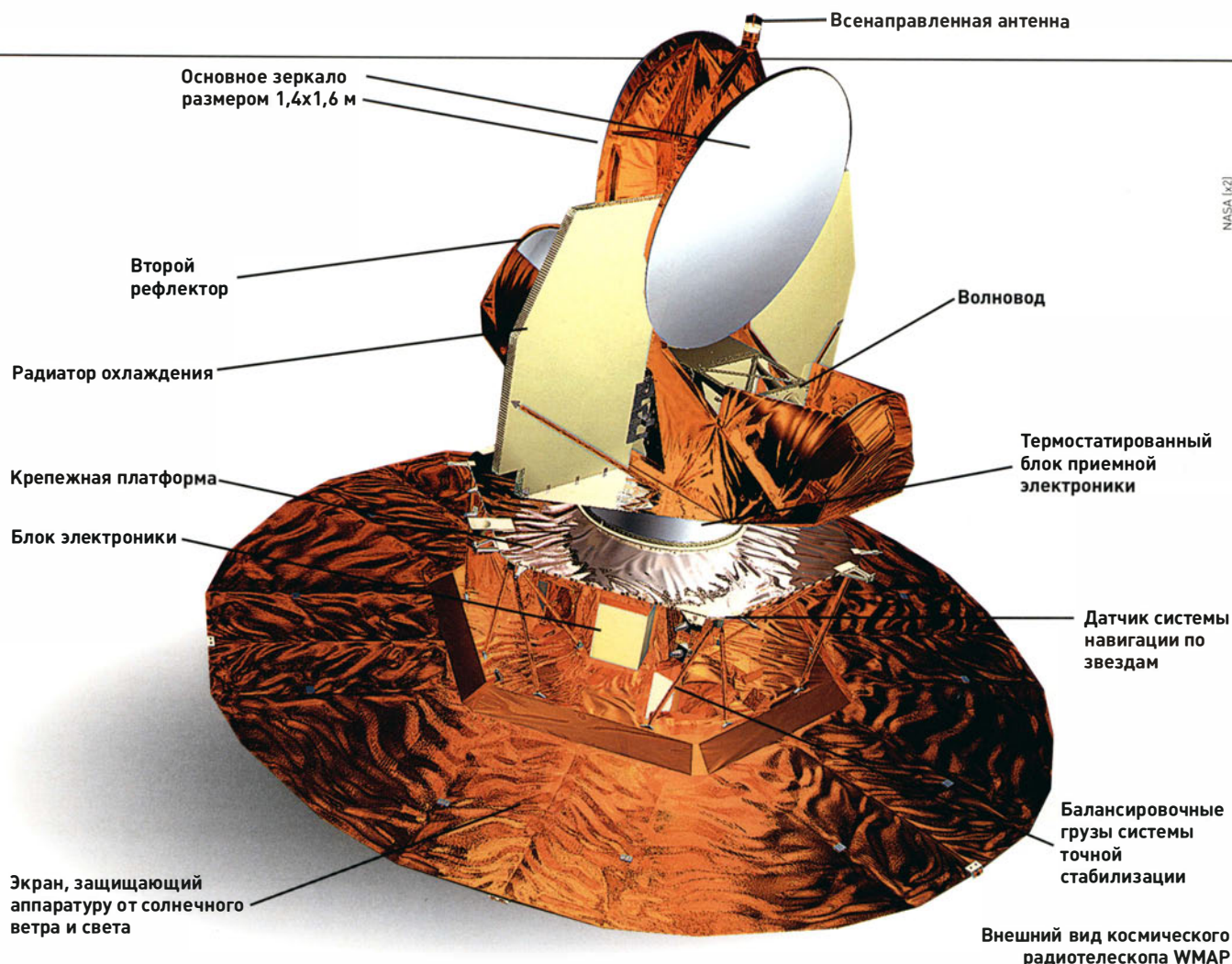
КОМБИНАЦИИ С ТОРОМ

Простейшим телом с более сложной, чем сфера или плоскость, топологией является тор. Представить его может каждый, кто держал в руках бублик. Другую более корректную математическую модель плоского тора демонстрируют экраны некоторых компьютерных игр: это квадрат или прямоугольник, противоположные стороны которого отождествлены, и если движущийся предмет уходит вниз, то появляется сверху; пересекая левую границу экрана, он появляется из-за правой, и наоборот. Такой тор является простейшим примером мира с нетривиальной топологией, который имеет конечный объем и при этом не имеет каких-либо границ.

В трехмерном пространстве аналогичную процедуру можно проделать с кубом. Если отождествить его противоположные грани, то образуется трехмерный тор. Если посмотреть изнутри такого куба на окружающее пространство, то можно увидеть бесконечный мир, состоящий из копий его одной-единственной и уникальной (не повторяющейся) части, объем которой вполне конечен. В таком мире нет каких-



Картины, наблюдаемые в топологически сложной вселенной, будут отчасти напоминать то, что мы видим в калейдоскопе — многократное повторение одних и тех же элементов, складывающихся в причудливый орнамент



NASA [x2]

либо границ, но есть три выделенных направления, параллельных ребрам исходного куба, вдоль которых наблюдаются периодические ряды исходных предметов. Эта картина очень похожа на то, что можно увидеть внутри кубика с зеркальными стенками. Правда, взглянув на любую из его граней, обитатель такого мира увидит свой затылок, а не лицо, как в земной комнате смеха. Более правильной моделью будет комната, оборудованная 6 телекамерами и 6 плоскими ЖК-мониторами, на которые выводится изображение, снимаемое расположенной напротив кинокамерой. В этой модели видимый мир замыкается сам на себя благодаря выходу в иное телевизионное измерение.

Описанная выше картина подавления низкочастотных гармоник верна, если время, за которое свет пересекает исходный объем, достаточно мало, то есть если размеры начального тела малы по сравнению с космологическими масштабами. Если же размеры доступной для наблюдений части Вселенной (так называемого горизонта Вселенной) оказываются меньше размеров исходного топологического объема, то ситуация не будет ничем отличаться от той, что мы увидим в обычной бесконечной эйнштейновской Вселенной, и никаких аномалий в спектре реликтового излучения наблюдаться не будет.

Максимально возможный про-

Получаемые из космоса данные позволяют предсказать будущее нашего мира

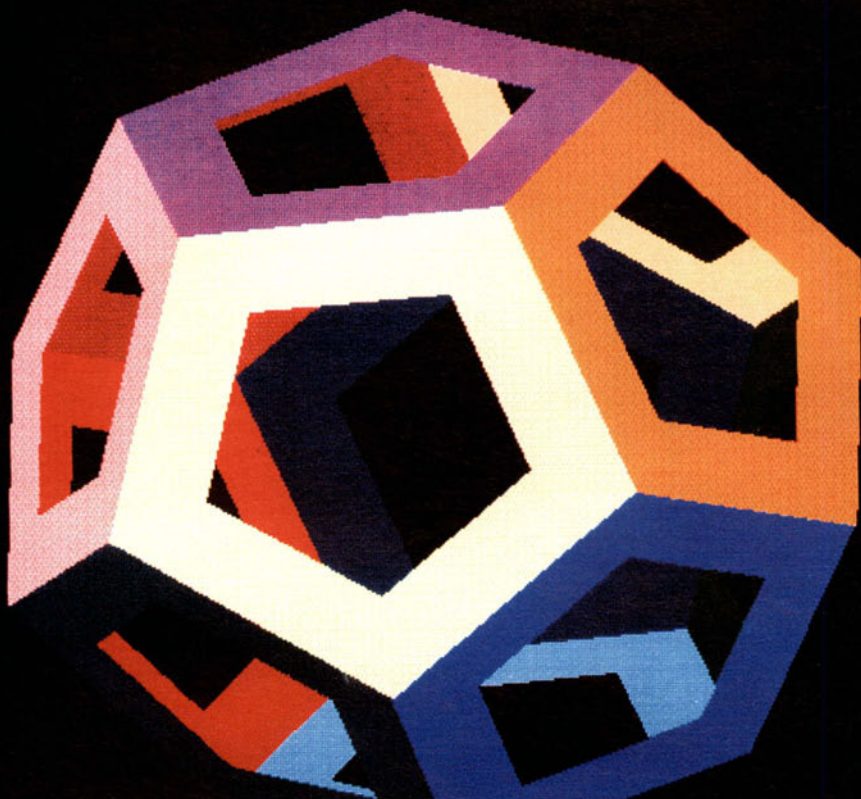
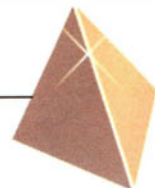
странственный масштаб в таком кубическом мире определяется размерами исходного тела — расстояние между любыми двумя телами не может превышать половины главной диагонали исходного куба. Свет, идущий к нам от границы рекомбинации, может по дороге несколько раз пересечь исходный куб, как бы отражаясь в его зеркальных стенках, из-за этого угловая структура излучения искажается и низкочастотные флуктуации становятся высокочастотными. В результате чем меньше исходный объем, тем сильнее подавление низших крупномасштабных угловых флуктуаций, а значит, изучая реликтовый фон, можно оценить размеры нашей Вселенной.

ТРЕХМЕРНЫЕ МОЗАИКИ

Плоскую топологически сложную трехмерную Вселенную можно построить только на основе кубов, параллелепипедов и шестигранных призм. В случае искривленного пространства такими свойствами обладает более широкий класс фигур. При этом наиболее хорошо полученные в эксперименте WMAP угловые спектры согласуются с моделью Вселенной, имеющей форму додекаэдра. Этот правиль-

ный многогранник, имеющий 12 пятиугольных граней, напоминает футбольный мячик, сшитый из пятиугольных лоскутков. Оказывается, что в пространстве с небольшой положительной кривизной правильными додекаэдрами можно без дыр и взаимных пересечений заполнить все пространство. При определенном соотношении между размером додекаэдра и кривизной для этого надо 120 сферических додекаэдров. Более того, эту сложную структуру из сотни «мячиков» можно свести к топологически эквивалентной, состоящей всего из одного-единственного додекаэдра, у которого отождествлены повернутые на 180 градусов противоположные грани.

Вселенная, образованная из такого додекаэдра, обладает рядом интересных свойств: в ней нет выделенных направлений, и она лучше большинства других моделей описывает величину низших угловых гармоник реликтового фона. Такая картина возникает только в замкнутом мире с отношением действительной плотности вещества к критической 1,013, что попадает в интервал значений, допустимых сегодняшними наблюдениями (1,02±0,02).



Противоположные грани додекаэдра центрально симметричны друг другу, и поэтому, замыкая такой мир сам на себя, приходится поворачивать его грани перед склейкой на 180 градусов

SPL/EA/ST NEWS

В замкнутой Вселенной возможности космической экспансии сильно ограничены

ЗВУЧАЩАЯ ПЛАЗМА

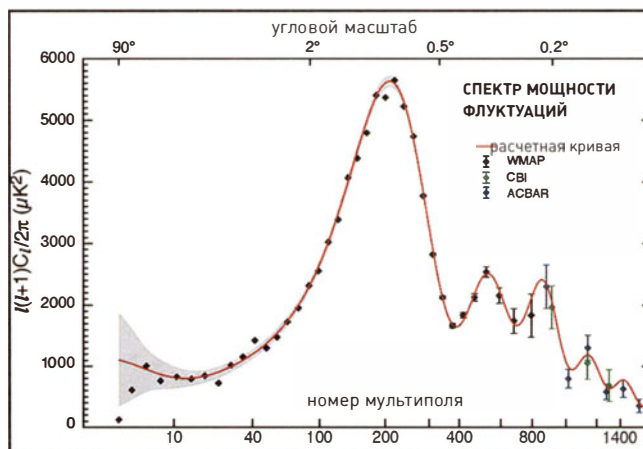
На спектре флуктуаций реликтового фона красной линией обозначены предсказания теоретической модели. Серый коридор вокруг нее — допустимые отклонения, а черные точки — результаты наблюдений. Большая часть данных получена в эксперименте WMAP, и только для самых высоких гармоник добавлены результаты исследований CBI (баллонные) и ACBAR (наземные антарктические). На нормированном графике углового спектра флуктуаций реликтового излучения видно несколько максимумов. Это так называемые «акустические пики», или «Сахаровские осцилляции». Их существование было теоретически предсказано Андреем Сахаровым. Эти пики обусловлены эффектом Доплера и вызваны движением плазмы в момент рекомбинации. Максимальная амплитуда колебаний приходится на размер причинно-связанной области (звукового горизонта) в момент рекомбинации. На меньших масштабах плазменные колебания были ослаблены фотонной вязкостью, а на больших — возмущения не зависели друг от друга и не были сфазированы. Поэтому максимум флуктуаций, наблюдаемых в современную эпоху, приходится на углы, под которыми сегодня виден звуковой горизонт, то есть область первичной плазмы, жившая единой жизнью в момент рекомбинации. Точное положение максимума зависит от отношения полной плотности Вселенной к критической. Наблюдения показывают, что первый, самый высокий пик расположен примерно на 200-й гармонике, что по теории с высокой точностью соответствует плоской Евклидовой Вселенной. Очень много информации о космологических параметрах содержится во втором и последующих акустических пиках. Само их существование отражает факт «сфазированности» акустических колебаний в плазме в эпоху рекомбинации. Если бы такой связи не было, то наблюдался бы только первый пик, а флуктуации на всех меньших масштабах были

Для рядового жителя Земли все эти топологические хитросплетения на первый взгляд не имеют особого значения. А вот для физиков и философов — совсем другое дело. Как для мировоззрения в целом, так и для единой теории, объясняющей строение нашего мира, эта гипотеза представляет большой интерес. Поэтому, обнаружив аномалии в спектре реликта, ученые стали искать другие факты, способные подтвердить или опровергнуть предложенную топологическую теорию.

МНОГОГРАННЫЙ МИР

В додекаэдральной модели горизонт событий и лежащая очень близко к нему граница рекомбинации пересекают каждую из 12 граней додекаэдра. Пересечение границы рекомбинации и исходного многогранника образуют на карте микроволнового фона 6 пар кругов, расположенных в противоположных точках небесной сферы. Угловой диаметр этих кругов — 70 градусов. Эти круги лежат на противоположных гранях исходного додекаэдра, то есть они геометрически и физически совпадают. Вследствие этого распределение флуктуаций реликтового излучения вдоль каждой пары кругов должно совпадать (с учетом поворота на 180 градусов). На основе имеющихся данных такие круги пока что не были обнаружены.

Но это явление, как оказалось, имеет более сложный характер. Круги будут одинаковыми и симметричными»



бы равновероятными. Но для того чтобы подобная причинная связь колебаний в разных масштабах могла возникнуть, эти (очень сильно удаленные друг от друга) области должны были иметь возможность взаимодействовать друг с другом. Именно такая ситуация естественным образом возникает в модели инфляционной Вселенной, а уверенное обнаружение второго и следующих пиков в угловом спектре флуктуаций реликтового излучения является одним из наиболее весомых подтверждений этого сценария. Наблюдения реликтового излучения велись в области, близкой к максимуму теплового спектра. Для температуры 3К он находится на длине волны радиоизлучения 1мм. WMAP вел свои наблюдения на чуть более длинных волнах: от 3 мм до 1,5 см. Этот диапазон достаточно близок к максимуму, и в нем ниже шумы от звезд нашей Галактики.

ПРАВИЛА ИГРЫ

Замыкание топологически сложного пространства самого на себя можно представлять как заполнение обычного пространства бесконечным числом копий исходной пространственной структуры. Можно перечислить простые условия, которым должно удовлетворять такое заполнение пространства объемными фигурами, чтобы не возникали не наблюдающиеся в реальности артефакты.

1. Тела свободно пересекают грани исходной фигуры (грань — не стенка), следовательно, не должно оставаться несклеенных граней.
2. В пространстве нет дыр и разрывов, то есть грани склеиваются целиком и имеют одинаковую форму.
3. Тела при пересечении грани фигуры не меняют своих размеров: склеиваемые грани должны быть одного размера, они склеиваются без сжатия или растяжения.
4. Тела при пересечении ребра или вершины не разрываются:
 - соседние грани фигуры склеиваются с соответствующей парой соседних граней;
 - сумма двугранных углов вокруг ребра должна составлять 2π , а трехгранных углов у вершины — 4π .

Из пяти правильных многогранников (тетраэдра, октаэдра, икосаэдра, куба и додекаэдра, так называемых Платоновых тел) для заполнения Евклидова пространства без щелей и взаимного проникновения фигур подходит только куб.

только для наблюдателя, неподвижно-го относительно реликтового фона. Земля же движется относительно него с достаточно высокой скоростью, из-за чего в фоновом излучении появляется существенная дипольная компонента. В этом случае круги превращаются в эллипсы, меняются их размеры, расположение на небе и среднее значение температуры вдоль круга. Обнаружить тождественные круги при наличии подобных искажений становится гораздо труднее, и точности имеющихся сегодня данных становится недостаточно — нужны новые наблюдения, которые помогут разобраться с тем, есть они или их все же нет.

МНОГОСВЯЗНАЯ ИНФЛЯЦИЯ

Пожалуй, самая серьезная проблема всех топологически сложных космологических моделей, а их возникло уже немало количество, имеет в основном теоретический характер. Сегодня стандартным считается инфляционный сценарий эволюции Вселенной. Он был предложен для объяснения высокой однородности и изотропности наблюдаемой Вселенной. Согласно ему вначале родившаяся Вселенная была достаточно неоднородной. Затем в процессе инфляции, когда Вселенная расширялась по близкому к экспоненте закону, ее изначальные размеры возросли на много

порядков. Сегодня мы видим только малую часть Большой Вселенной, в которой по-прежнему остались неоднородности. Правда, они имеют столь большую пространственную протяженность, что внутри доступной нам области незаметны. Инфляционный сценарий пока является лучше всего разработанной космологической теорией.

Для многосвязной вселенной такая последовательность событий не подходит. В ней доступна для наблюдения вся ее уникальная часть и некоторые из ее ближайших копий. В таком случае структуры или процессы, описываемые масштабами, много большими наблюдаемого горизонта, существовать не могут.

Направления, в которых придется развивать космологию, если многосвязность нашей Вселенной подтвердится, уже ясны: это безинфляционные модели и так называемые модели со слабой инфляцией, в которых размеры вселенной за время инфляции возрастают всего в несколько раз (или десятков раз). Таких моделей пока нет, и ученые, стараясь сохранить привычную картину мира, активно ищут огрехи в результатах, полученных с помощью космического радиотелескопа.

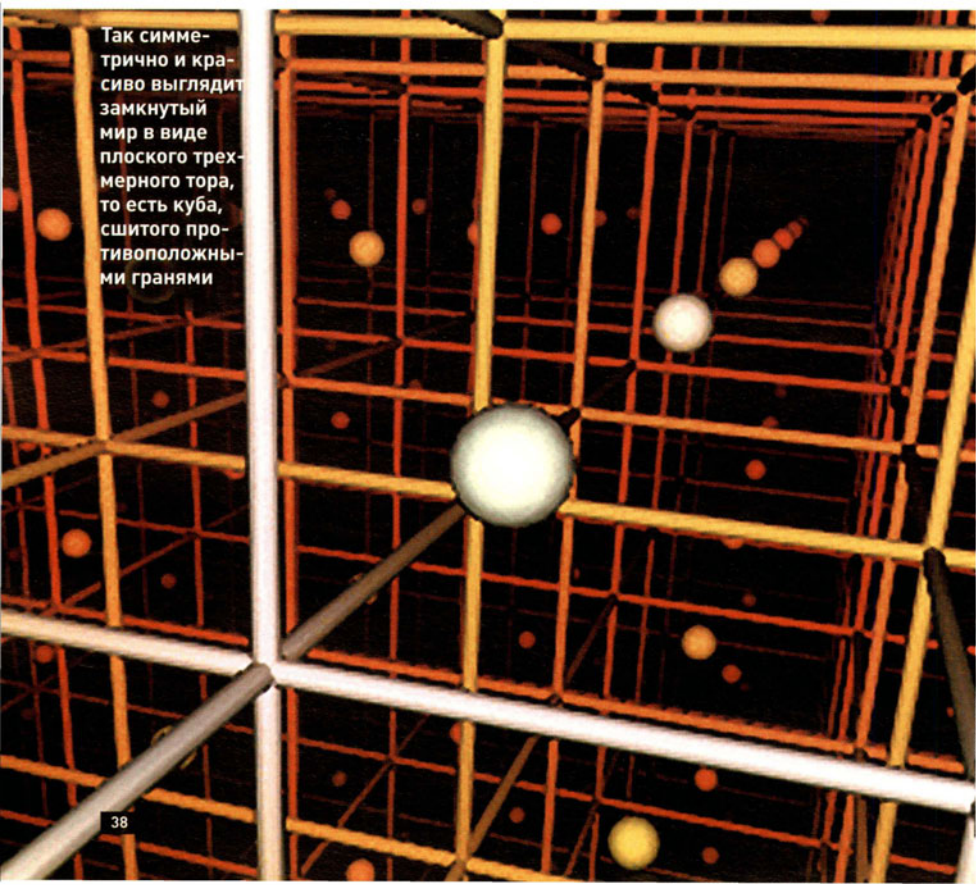
АРТЕФАКТЫ ОБРАБОТКИ

Одна из групп, которая вела самостоятельные исследования данных WMAP, обратила внимание на то, что квадрупольная и октупольная составляющие реликтового излучения имеют близкую друг к другу ориентацию и лежат в плоскости, почти совпадающей с галактическим экватором. Вывод этой группы: произошла ошибка при вычитании фона Галактики из данных наблюдений микроволнового фона и реальная величина гармоник совсем другая.

Наблюдения WMAP велись на 5 различных частотах специально для того, чтобы правильно разделить космологический и локальный фон. И основная команда WMAP считает, что обработка наблюдений была проведена корректно, и отвергает предложенное объяснение.

Имеющиеся космологические данные, опубликованные еще в начале 2003 года, были получены после обработки результатов только первого года наблюдений WMAP. Для проверки предложенных гипотез, как обычно, требуется повышение точности. К началу 2006 года WMAP ведет непрерывные наблюдения уже четыре года, этого должно хватить для повышения точности вдвое, но эти данные все еще не опубликованы. Нужно немного подождать, и, возможно, наши предположения о додекаэдрической топологии Вселенной примут вполне доказательный характер. ●

Многосвязная вселенная вся доступна для наблюдения, и ее ближайшие копии — тоже



NASA [x2]