

Тимоти Клифтон и Педро Ферейра

# ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ СУЩЕСТВУЕТ темная энергия?

Возможно, в нашей Вселенной нет темной энергии. Согласно наблюдениям, позволившим астрономам сделать вывод о ее существовании, можно также предположить, что наша Галактика лежит в центре гигантской космической пустоты, или «войда»

Величайшие революции в науке часто могли быть спровоцированы самыми незначительными разногласиями. Так, в XVI в. Коперник предположил, что Земля не находится в центре Вселенной. Он основывался на гинственных деталях движения небесных тел. В наше время, 11 лет назад, стала назреть иная революция, началом которой послужи-

ло открытие ускоренного расширения Вселенной. На основе наблюдений небольших колебаний яркости взрывающихся звезд астрономы заключили, что 70% нашей Вселенной — неизвестной природы: пространство-время заполнено некоей «субстанцией», по своим свойствам отличной от всех известных науке веществ: она разгоняет Вселенную вместо того, чтобы удерживать. Эта

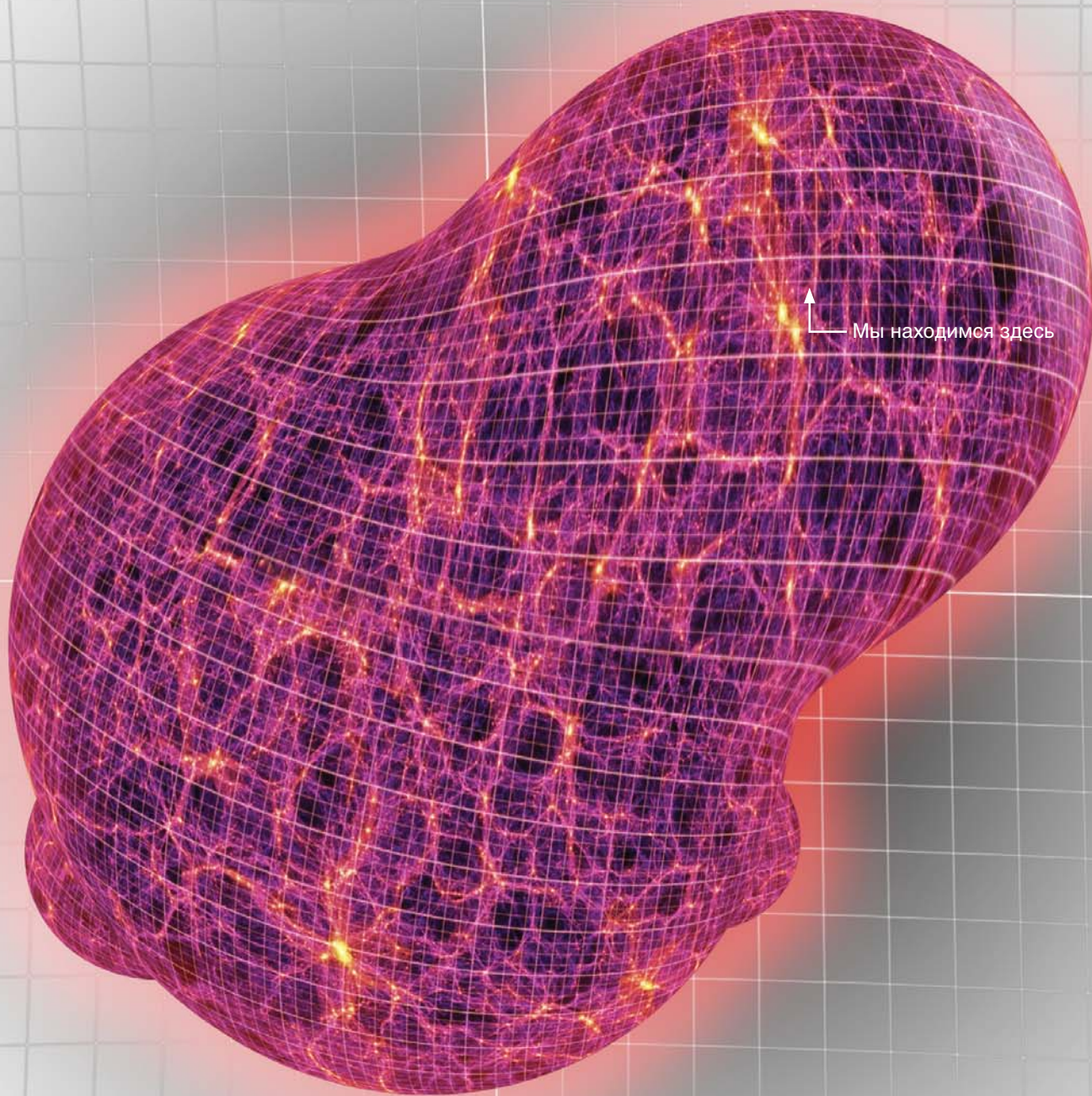
## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Согласно данным наблюдений, наша Вселенная расширяется с ускорением, что предполагает существование странной новой формы энергии — темной энергии. Проблема заключается в том, что никто до сих пор точно не знает, что же она собой представляет.
- Возможно, космологи могут и не привлекать экзотические формы энергии для объяснения ускоренного расширения нашей Вселенной. Если мы живем в некоторой особой области пространства, которая более «пуста», чем все окружающие ее области, то темп космологического расширения зависит от нашего в ней положения, что можно ошибочно принять за кажущееся расширение.
- Космологам трудно смириться с гипотезой существования гигантского войда (пустоты), но и природа темной энергии вызывает много вопросов. Наблюдения, планируемые на ближайшие годы, позволят выявить, какая же из этих двух теорий действительно реализуется в природе.

субстанция получила название темной энергии.

Прошло более десятка лет со времени открытия ускоренного расширения Вселенной, но до сих пор существование темной энергии остается под вопросом — некоторые космологи переосмысливают фундаментальные постулаты, исходя из которых они смогли прийти к этой гипотезе. Одна из идей родилась на основе размышлений над принципом Коперника, согласно которому Земля не имеет привилегированного положения в космическом пространстве. Если мы не примем это базовое утверждение, то придем к иному объяснению имеющихся наблюдений.

Большинство из нас хорошо знакомы с точкой зрения, что Земля — всего лишь крошечная песчинка на орбите вокруг типичной звезды где-то на краю заурядной во всех отношениях галактики. Находясь среди миллиардов галактик Вселенной, которые, разлетаясь, стремятся к нашему космическому горизонту (так называемому горизонту видимости, которым ограничена наблюдаемая нами часть Вселенной. — Прим. пер.), мы с неизбежностью заключаем, что в нашем расположении нет ничего уникального или избранного. Но какие реальные факты могут подтвердить такую скромность? А если бы мы действительно были в некоей избранной области, то как



НЕРАВНОМЕРНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА, вызванное вариациями плотности материи в грандиозных масштабах, может порождать эффект, который астрономы приписывают темной энергии



## НАСЛЕДИЕ КОПЕРНИКА

Принцип Коперника гласит, что Земля не занимает особого места во Вселенной. Вселенная обладает однородной плотностью (свойство однородности) и выглядит одинаково во всех направлениях (свойство изотропии).

Будучи весомым утверждением, этот принцип приложим только на сверхбольших масштабах, больших, чем галактические. Следует отметить, что если Вселенная в прошлом была совершенно однородна, то сейчас она представляла бы собой своего рода жидкий супчик из атомов, а не совокупность галактик. Кроме того, принцип Коперника приложим к пространству, а не ко времени. Мы живем в интересную эпоху: довольно много времени прошло после Большого взрыва, так что жизнь уже успела зародиться, но наш мир все еще не стар, и звезды еще не погасли.

Историк Деннис Даниельсон (Dennis Danielson) из Университета Британской Колумбии утверждает: несмотря на то что европейское общество до Коперника помещало Землю в центр Вселенной, наша планета не считалась самой важной; наоборот, она воспринималась, по словам Галилея, лишь как «скопище вселенского мусора и приют бабочек-однодневок»

бы мы смогли распознать это? Астрономы обычно не задаются подобными вопросами, полагая нашу собственную «типичность» достаточно очевидной, чтобы не продолжать дискуссии на данную тему. Многие считают, что нет оснований для поддержки идеи о том, что мы находимся в особой области пространства. Тем не менее именно этой точки зрения придерживается одна группа физиков из разных стран.

Таким образом, опираясь на гипотезу нашей малозначительности во Вселенной, космологи получили свободу делать какие угодно смелые и ни к чему не обязывающие предположения. Например, мы можем экстраполировать результаты наблюдений ближайшей окрестности космоса на всю Вселенную. Больших усилий потребовало создание реалистичных моделей Вселенной, основанных на космологическом принципе, обобщающем принцип Коперника, согласно которому все положения и направления в пространстве выглядят одинаково. Космологический принцип в совокупности с нашими сегодняшними представлениями о пространстве, времени и материи гласит, что пространство расширяется, Вселенная охлаждается, а состав Вселенной определяется ее ранней горячей стадией — и все это основано на наблюдениях.

Так, астрономы открыли, что свет удаленных галактик — более красный, чем свечение расположенных ближе к нам. Эта характеристика, называемая красным смещением, может быть четко и ясно объяснена увеличением длин волн в расширяющемся пространстве. Микроволновые детекторы обнаруживают практически идеально однородный фон реликтового излучения, возникшего в ранней Вселенной. Микроволновое космическое фоновое излучение (или реликтовое излучение) — свидетельство той стадии Вселенной, когда она только что перестала представлять собой плазменный шар, и фотоны получили возможность распространяться

свободно. Приятно осознавать, что такой успех в понимании Вселенной обусловлен и нашей скромностью: чем меньше мы задумываемся о собственной значимости, тем больше можем сказать о Вселенной.

## Мрак наступает

Тогда к чему раскачивать лодку? Если космологический принцип так успешен, то с какой стати мы должны ставить его под сомнение? Проблема заключается в неоднозначности интерпретации данных астрономических наблюдений. В последнее десятилетие астрономы обнаружили, что для некоторой заданной величины красного смещения взрывы далеких сверхновых выглядят не такими яркими, как ожидалось. Красное смещение — мера расширения Вселенной. Изменяя, насколько сильно приходящее к наблюдателю излучение сверхновой смещено в красную область спектра, космологи могут заключить, насколько мала была Вселенная во время той вспышки по сравнению со своими современными размерами. Чем больше красное смещение, тем меньше была Вселенная, когда возникла сверхновая, и тем больше Вселенная успела расшириться за этот промежуток времени.

Наблюдая вспышку сверхновой, измеряют расстояние до нее, что в свою очередь дает возможность оценить, сколько времени прошло с момента вспышки. Если сверхновая для некоторой заданной величины красного смещения выглядит не такой яркой, как ожидается, то она должна быть дальше, чем полагают астрономы. Потребуется больше времени, чтобы свет такой сверхновой смог достичь наблюдателя, следовательно, Вселенной нужно больше времени, чтобы расшириться до современного состояния (илл. ниже). Таким образом, скорость расширения Вселенной в прошлом должна была быть меньше, чем предварительно ожидалось. В действительности далекие сверхновые довольно тусклы для того, чтобы расширение Вселенной обязательно происходи-

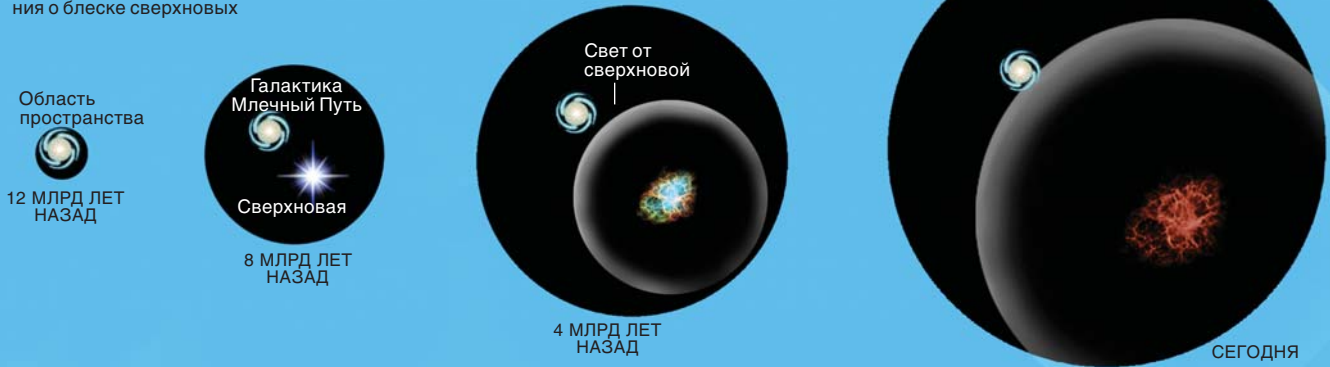
## ТРИ ПУТИ «РАСШИРИТЬ» ВСЕЛЕННУЮ

Астрономы обнаружили, что вспышки удаленных сверхновых слабее, чем прогнозировалось. Для того чтобы понять, что это означает в свете решения проблемы космологического расширения, давайте рассмотрим область пространства, содержащую сверхновую и нашу Галактику — Млечный Путь. Со временем эта область становится больше, поскольку пространство

растягивается подобно резине. Сверхновая удаляется, когда Вселенная достигает половины своего современного размера (что может происходить в разные моменты времени в зависимости от того, расширяется ли Вселенная с замедлением или с ускорением). Распространяясь от сверхновой, свет вспышки со временем достигает нашей галактической окраины

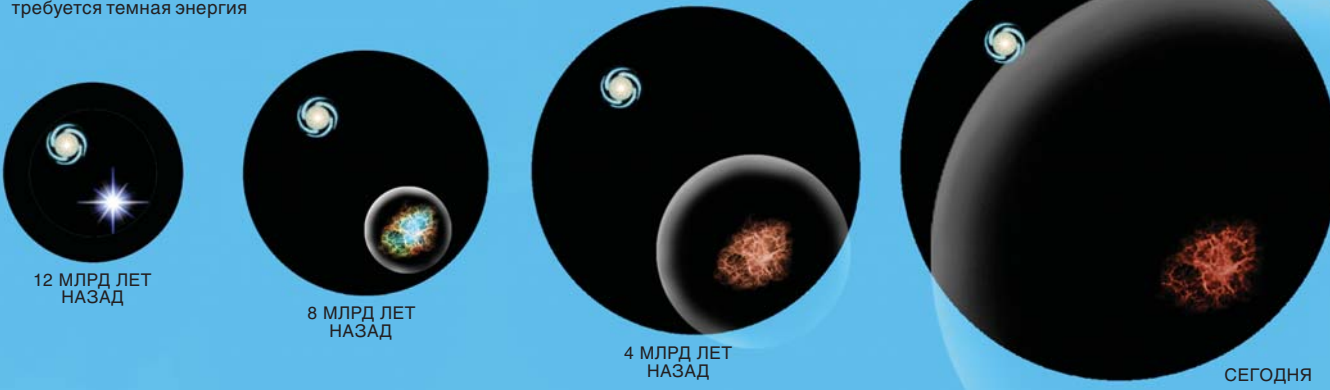
### СТАРОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ: РАСШИРЕНИЕ С ЗАМЕДЛЕНИЕМ

До 1998 г. большинство космологов полагали, что со временем темп расширения Вселенной падает, другими словами, что в каждый последующий интервал времени область пространства увеличивается на все меньшее значение. На этом предположении ученые основывали свои представления о блеске сверхновых



### ПЕРВЫЙ СЦЕНАРИЙ: РАСШИРЕНИЕ С УСКОРЕНИЕМ

В обычном истолковании наблюдений сверхновых темп космологического расширения в прошлом был ниже, чем сейчас. Соответственно, Вселенной было необходимо больше времени, чтобы вырасти до современного состояния, а свету сверхновых требовалось больше времени для распространения, и поэтому они выглядят более тусклыми. Для объяснения ускоренного расширения требуется темная энергия



### ВТОРОЙ СЦЕНАРИЙ: ВСЕЛЕННАЯ НЕОДНОРОДНА

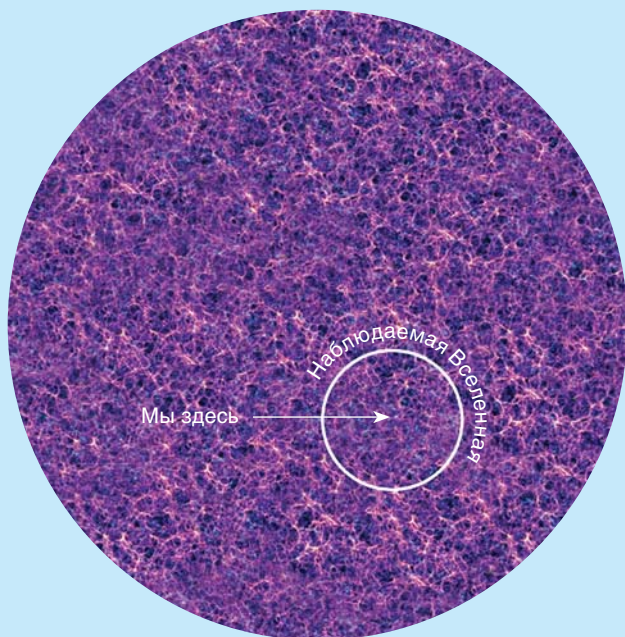
Согласно альтернативному сценарию, расширение все-таки происходит с замедлением, но различными темпами в зависимости от области пространства. Если область пространства в нашей окрестности более «пустая», чем соседние, то она содержит меньше вещества, чтобы задержать расширение, и поэтому ее расширение замедляется не так быстро, как в окружающих областях



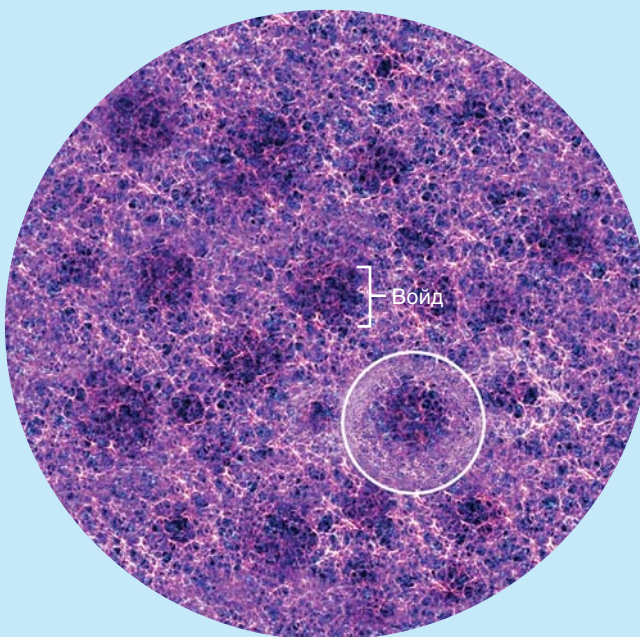
## СПЕЦИАЛЬНОЕ МЕСТО ДЛЯ НАС

В своем произведении «Руководство для путешествующих автостопом по Галактике» современный английский писатель Дуглас Адамс (Douglas Adams) буквально сводит своих читателей с ума, являя им абсолютную незначительность места человечества во Вселенной.

Одна из потенциальных жертв пришла в себя, когда оказалось, что Вселенная на самом деле вращается вокруг нее. Некоторые ученые задаются вопросом, является ли наша планета на самом деле избранной в системе общемирового устройства



**ОДНОРОДНАЯ ВСЕЛЕННАЯ: НАШЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ТИПИЧНО**  
С общепринятой точки зрения крупномасштабное распределение галактик напоминает паутину, обладающую одинаковой структурой повсюду. Расположение Земли ничем не выделено



**НЕОДНОРОДНАЯ ВСЕЛЕННАЯ: НАШЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ОСОБОЕ**  
Согласно альтернативной гипотезе, плотность материи могла бы меняться на сверхбольших масштабах, и Земля могла быть расположена вблизи центра относительно менее плотной области — войда

ло с ускорением, соответствующим темпам современного расширения.

Ускоренное расширение породило революцию в современной космологии. Материя во Вселенной должна натягивать ткань пространства-времени, замедляя его расширение, но данные по сверхновым указывают на обратное. Если космологи принимают космологический принцип и полагают, что ускоренное расширение происходит одновременно повсюду, то неизбежно заключение, что Вселенная должна быть пронизана особой субстанцией, экзотической энергией, темной энергией, которая порождает отталкивающий эффект.

В Стандартной модели фундаментальных частиц и взаимодействий нет понятия темной энергии. Это субстанция, характеристики которой до сих пор не удается измерить прямыми методами. Она об-

ладает свойствами, не схожими ни с чем, ранее известным, а ее плотность энергии в  $10^{120}$  раз меньше, чем можно было бы ожидать. Существуют гипотезы о том, из чего может состоять темная энергия, но они довольно спекулятивны. Коротко говоря, наши представления о темной энергии темны. Огромное число претенциозных и дорогих наземных и космических миссий заняты изучением темной энергии и ее свойств. Для многих исследователей это очень важная тема, лежащая в основе всей современной космологии.

### Альтернатива

Столкнувшись со странной и кажущейся неправдоподобной идеей, некоторые ученые пересматривают приведшие к ней положения. Одно из них таково: действительно ли мы живем в достаточно репрезентатив-

ной части Вселенной? Могут ли признаки существования темной энергии быть объяснены как-то иначе, если мы откажемся от космологического принципа?

В рамках традиционного сценария мы говорим о расширении Вселенной как целого. Такая картина схожа с надуванием воздушного шарика: мы рассуждаем о том, насколько вырастет его объем, а не о том, как увеличится в размерах часть его поверхности. Все хорошо представляет себе неровно раздувающийся шарик: одна из областей растягивается быстрее, другая медленнее. Согласно альтернативному подходу, отвергающему космологический принцип, пространство тоже может расширяться неоднородно — и возникает более сложная картина Вселенной.

Рассмотрим следующий сценарий развития Вселенной, впервые

предложенный Джорджем Эллисом (George Ellis), Чарлзом Хеллаби (Charles Hellaby) и Назимом Мустафой (Nazeem Mustapha) из Кейптаунского университета (Южная Африка), а затем развитым в работах Мари-Ноэль Селерье (Marie-Noëlle Celerier) из французской Обсерватории Париж-Медон. Предположим, что скорость расширения замедляется везде; материя натягивает пространство-время и замедляет его расширение. Далее предположим, что мы живем в достойной великана Гаргантюа космической пустоте (войде). Войд — это не абсолютная пустота, а такая область, в которой средняя плотность вещества составляет половину или, быть может, треть средней плотности окружающего войд пространства. Чем более пуста область пространства, тем меньше она содержит вещества для замедления расширения: таким образом, скорость локального расширения в войде больше, чем в окружающих его областях. Темп расширения выше в центре войда и убывает к его границе, где высокая плотность внешней по отношению к войду среды способствует формированию неоднородностей. В момент времени различные части пространства будут расширяться с разными темпами, подобно неравномерно надуваемому воздушному шару.

Теперь представьте себе взрывы сверхновых, происходящие в разных частях такой неоднородной Вселенной — некоторые в центре войдов, другие на их периферии, а часть и вне войдов. Если наблюдатель находится недалеко от центра войда, а сверхновая далеко, то пространство в окрестности наблюдателя расширяется быстрее, чем там, где расположена сверхновая. Свет от сверхновой к наблюдателю распространяется через области, которые расширяются все быстрее. Каждая из областей некоторым образом увеличивает длину волны, и наблюдатель фиксирует определенное красное смещение сверхновой, становящееся результатом такого совокупного эффекта. Свет, проходящий некоторый заданный путь,

обладает меньшим красным смещением, чем если бы вся Вселенная расширялась так же, как и локально вблизи наблюдателя. Обратное, для достижения определенного значения красного смещения свет должен пройти большее расстояние, чем это было бы в однородно расширяющейся Вселенной. В последнем случае сверхновая должна быть дальше и, следовательно, казаться тусклее.

Другой способ объяснения: изменение степени расширения в зависимости от пространственной области на самом деле симулирует изменения во времени. В этом случае космологи могут объяснить неожиданное поведение сверхновых без привлечения темной энергии. Для такой альтернативы мы должны жить в войде космических масштабов. Наблюдения сверхновых происходят на масштабах миллиардов световых лет, что представляет собой существенную часть наблюдаемой Вселенной. Войд должен обладать такими же размерами и быть гигантским согласно почти всем стандартам.

## ВОЙДЕМ В ВОЙД

Несмотря на то что космический войд имитирует темную энергию, совпадение не идентично. Будущие наблюдения помогут выявить решающие различия

- Дополнительные наблюдения сверхновых точно определяют темп расширения и выявят, меняется ли он в зависимости от пространственной области, как это предсказывается в модели войда
- Галактические скопления отражают свет и в некотором смысле позволяют нам увидеть наши окрестности как отражение в зеркале. Если мы живем в войде, то таким образом мы можем его увидеть
- Галактики и скопления галактик ведут себя в пространстве соответственно темпу расширения в их местоположении и, таким образом, чувствительны к наличию войда
- Нейтрино, очевидцы процессов в ранней Вселенной, могли бы помочь обнаружить войд

СВЕРХНОВАЯ 1994D (указана стрелкой) и схожие вспышки используются как своего рода трекеры космологического расширения

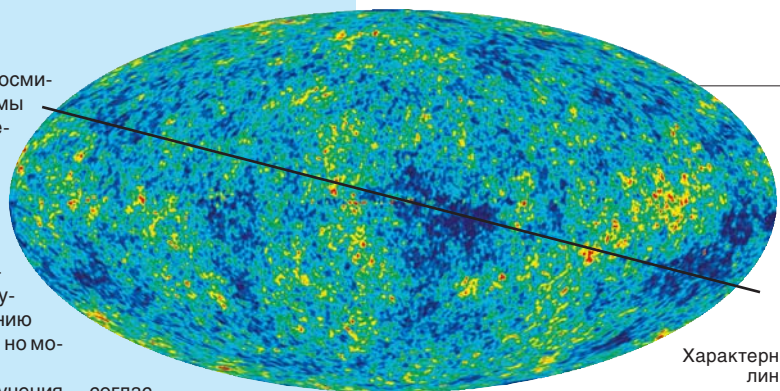


## ИДЯ НА УСТУПКИ ПУСТОТЕ

Большинство предположений о том, что мы живем в космическом войде, помещает нас в его центр. А что если мы живем далеко от его средоточия? В этом случае Вселенная выглядела бы слегка кривобокой. Согласно исследованиям Ховарда Алнеса (Hovard Alnes) и Морара Амарзгиуи (Morad Amarzguioui) из Университета Осло, фоновое микроволновое космическое излучение обладает чуть повышенной температурой в одном направлении и чуть пониженной в другом. Такая асимметрия, названная дипольной, была обнаружена в наблюдениях и обычно приписывается движению Солнечной системы на фоне реликтового излучения, но может быть и следствием неоднородности Вселенной.

Кроме того, небольшие флуктуации реликтового излучения — согласно исследованиям Жоао Магейжу (Joao Magueijo) и Кейт Лэнд (Kate Land) из Имперского Колледжа в Лондоне — могут обладать определенной ориентацией, так называемой осью зла (см.: *Старкман Г., Шварц Д. Хорошо ли настроена Вселенная?* // *ВМН*, 2005, № 11). Эта линия указывает на наличие предпочтительного направления на небе, которое, будучи трудно объяснимым во вселенной Коперника, может быть оправдано нашим удаленным расположением от центра войда. Избранное направление может обладать и другим эффектом: крупномасштабным согласованным движением галактик и галактических скоплений. Некоторые исследователи утверждают об обнаружении таких «темных потоков», но это остается сомнительным.

Несмотря на то что существует большое искушение объяснить указанные аномалии наличием гигантского войда, разные объяснения не состыкуются между собой. Для начала указанные эффекты дают различные направления оси. Кроме того, оценка мощности диполя показывает, что мы всего лишь в 50 млн световых лет от центра войда, что представляет собой очень небольшую его часть



Характерная линия

ОСЬ ЗЛА, характерная линия в распределении реликтового излучения, может быть указанием на неоднородность нашей Вселенной

## Хорошо забытая возможность

Насколько же неправдоподобен такой гигантский космический войд? На первый взгляд, — довольно сильно. Не связанный с кажущимся равномерным распределением галактик, он находился бы на фоне микроволнового реликтового излучения, однородного с точностью  $10^{-5}$  (см.: *Стросс М. План Вселенной* // *ВМН*, 2004, № 5). Однако при более детальной проработке этого вопроса приведенные аргументы становятся менее убедительными.

Однородность реликтового излучения требует, чтобы Вселенная выглядела примерно одинаково во всех направлениях. Если войд строго симметричен, и если мы находимся близко к его центру, то это не противоречит наблюдениям. Также следует отметить, что реликтовое излучение обладает отдельными аномальными характеристиками, которые в принципе можно объяснить неоднородностями на сверхбольших масштабах.

Существующие обзоры распределения галактик не простираются достаточно далеко, чтобы исключить гипотезу существования войда такого размера, что он будет способен имитировать темную энергию.

Обзоры обнаруживают войды меньших размеров, филаменты вещества и другие структуры размеров в сотни миллионов световых лет, но предполагаемый войд должен быть на порядок больше. В настоящее время в астрономии ведется активное обсуждение вопроса о том, подтверждают ли галактические обзоры космологический принцип. Недавние исследования Давида Хогга (David Hogg) из Нью-Йоркского университета и его коллег показали, что самые большие структуры во Вселенной обладают протяженностью в 200 млн световых лет; на еще больших масштабах вещество распределено равномерно, согласно космологическому принципу. Однако Франческо Силос Лабини (Francesco Sylos Labini) из Центра Энрико Ферми в Риме и его коллеги подтвердили, что самые большие из данных структур, обнаруженных так далеко, ограничены только лишь возможностями галактических обзоров, при помощи которых эти структуры и обнаружили. Более протяженные структуры вполне могут распространяться и дальше, за возможности обзоров.

Предположите по аналогии, что у вас есть карта, охватывающая область в 10 км, которую из конца

в конец пересекает дорога. Будет ошибкой заключить, что возможная протяженность этой дороги соответствует 10 км. Для того чтобы узнать длину самого протяженного дорожного полотна, нам необходима карта, на которой указаны концы и начала всех дорог: только так можно определить их полную длину. Точно так же астрономам нужны галактические обзоры больше, чем самые объемные структуры во Вселенной, если они хотят доказать космологический принцип. Достаточно ли обширны существующие обзоры — вопрос дискуссионный.

Теоретикам тоже трудно смиряться с существованием такого огромного войда. Все доступные признаки свидетельствуют о том, что галактики и более протяженные структуры, такие как филаменты и войды, выросли из микроскопических квантовых флуктуаций, которые космологическое расширение растянуло до астрономических масштабов. Космологи могут уверенно предсказать, какие именно размеры структур ожидаются при таком сценарии. Чем крупнее структура, тем реже она должна была бы образовываться. Вероятность формирования войда, достаточно большого для имитации темной энергии, меньше,

чем  $1/10^{100}$ . Гигантский войд может существовать где-то во Вселенной, но шанс обнаружить хотя бы один войд именно в наблюдаемой ее части чрезвычайно мал.

Однако здесь есть лазейка. В начале 1990-х гг. один из авторов Стандартной космологической модели ранней Вселенной Андрей Линде совместно с сотрудниками Стэнфордского университета показал, что хотя гигантские войды чрезвычайно редки, они быстро расширяются на ранних стадиях и доминируют во Вселенной. Соответственно, вероятность того, что наблюдатели окажутся именно в такой структуре, не так уж мала. Данный результат показывает, что космологический принцип (гласящий, что мы не живем в каком-то избранном месте во Вселенной) — не всегда то же самое, что принцип «заурядности» (предполагающий, что мы типичные наблюдатели). Оказывается, можно быть типичным наблюдателем и при этом жить в некоей избранной области Вселенной.

### Изучая гипотезу войда

Какие наблюдения смогли бы дать однозначный ответ на вопрос, управляет ли расширением Вселенной темная энергия, или же мы живем в особой области — центре гигантского войда? В последнем случае космологам необходима реалистичная модель поведения пространства, времени и материи в окрестности войда. Священник Жорж Леметр (Georges Lemaitre) сформулировал в 1933 г. как раз такую концепцию, спустя год независимо выдвинул Ричардом Толменом (Richard Tolman) и далее развиваемую после Второй мировой войны Германом Бонди (Hermann Bondi). Согласно этой модели, темп расширения Вселенной зависел не только от времени, но и от расстояния до некоторой особой точки, что и напоминает гипотезу войда.

Опираясь на модель Леметра — Толмена — Бонди, рассмотрим сверхновые, приведшие к гипотезе темной энергии. Чем больше сверхновых наблюдают астрономы, тем

более точно они могут реконструировать историю расширения Вселенной. Собственно говоря, эти наблюдения исключили бы не полностью гипотезу войда, поскольку космологи смогли бы воссоздать данные любого набора сверхновых, выбрав войд подходящей формы. Однако для того чтобы войд полностью имитировал темную энергию, он должен обладать рядом особых свойств.

Причина в том, что предполагаемое расширение Вселенной происходит вплоть до сегодняшнего момента времени. Чтобы точно имитировать такую ситуацию с помощью войда, темп расширения обязан резко падать от нас и во всех направлениях. Таким образом, плотность вещества и энергии должна резко возрастать от нас и во всех направлениях. Представленный на графике, закон изменения плотности стал похож на перевернутую шляпу Гэндальфа, верхушка которой соответствует значению плотности в месте нашего расположения в пространстве. Такой профиль противоречит нашему знанию о том, каковы должны быть структуры во Вселенной: обычно они сглаженные, а не «остроконечные». Более того, Али Вандервельд (Ali Vanderveld) и Инна Фленеген (Inna Flanagan) из Корнеллского университета показали, что «верхушка шляпы», где мы живем, может быть сингулярной, подобно сверхплотной области в центре черной дыры.

Тем не менее если войд обладает более реалистичным сглаженным распределением плотности, то отличительное наблюдательное свойство все равно присутствует. Сглаженные войды порождают наблюдательные эффекты, которые могут быть ошибочно приняты за объяс-

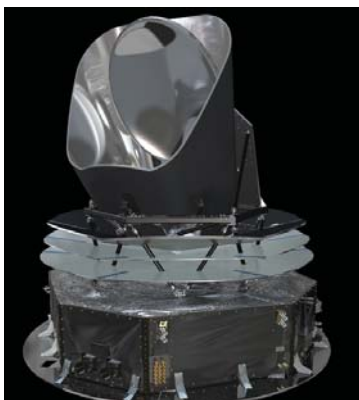
нение ускоренного расширения Вселенной, но тот факт, что они сглажены, означает, что они не идентичны проявлению темной энергии. В частности, кажущаяся степень ускорения сильно меняется в зависимости от красного смещения. В совместной работе с Кейт Лэнд (Kate Land) в Оксфордском университете авторы статьи показали, что нескольких сотен сверхновых в дополнение к тому, что мы имеем сегодня, оказалось бы достаточно для обоснования такой гипотезы. Программы по наблюдению сверхновых позволяют достичь желаемой цели.

Сверхновые — не единственные объекты, предоставляющие наблюдательные данные. Джереми Гудмен (Jeremy Goodman) из Принстонского университета предложил в 1995 г. другой возможный тест с помощью реликтового излучения. В то время наилучшее наблюдательное проявление темной энергии еще не было получено, и поэтому Гудмен не искал объяснений загадочных феноменов, а просто доказывал принцип Коперника. Его идея была такова: использовать удаленные скопления галактик как своего рода «зеркала», чтобы посмотреть на Вселенную с разных сторон, создав нечто подобное своеобразной «небесной примерочной». Скопления галактик отражают небольшую часть реликтового излучения, которое нагревает их. Аккуратные измерения спектра такого излучения дают космологам представление о том, как бы выглядела Вселенная, находясь наблюдатель в одном из таких скоплений. Если бы сдвиг точки наблюдения влиял на вид Вселенной, то это было бы важным свидетельством в пользу гигантского войда или аналогичной структуры.

### ОБ АВТОРАХ

**Тимоти Клифтон** (Timothy Clifton) и **Педро Ферейра** (Pedro G. Ferreira) — космологи в Оксфордском университете, изучают физику ранней Вселенной и возможные модификации Общей теории относительности Эйнштейна. Клифтон — энтофил, в частности, страстный поклонник бургундского вина. Ферейра, автор популярной книги по астрономии *State of the Universe* («Структура Вселенной»), ведет лекции для художников и участвует в программах по поддержке научного образования в Африке.





### «ПЛАНК» В КОСМОСЕ

Европейский космический проект «Планк» — последняя разработка по измерению анизотропии реликтового излучения — 14 мая запущен на орбиту.

«Планк» должен осуществить полный анализ флуктуаций температуры реликтового излучения, завершив, таким образом, наблюдения, начавшиеся еще в 60-х гг. прошлого века. Эти флуктуации позволяют понять, какой была ранняя Вселенная возрастом 400 тыс. лет и как она развивалась в дальнейшем. Исследования подскажут нам, живем ли мы в гигантском войде, или нет.

«Планк» также будет измерять поляризацию реликтового излучения, что объяснит нам, идут ли сквозь Вселенную гравитационные волны — результат процессов сверхвысоких энергий в первые мгновения после Большого взрыва, а, быть может, даже и ранее

Недавно две группы космологов решили проверить это утверждение. Роберт Колдуэлл (Robert Caldwell) из Дартмутского колледжа и Альберт Стеббинс (Albert Stebbins) из Национальной Лаборатории Ферми (Батавия, штат Иллинойс) изучали точные наблюдения искажения микроволнового фонового излучения, а Хуан Гарсиа Беллидо (Juan Garcia-Bellido) из Мадридского университета и Троэлс Хогбюлл (Troels Haugbolle) из Орхусского университета (Дания) занялись поиском отдельных скоплений галактик. Ни одна из групп не обнаружила войд. Лучшее, что смогли сделать ученые —

обрисовать свойства, которыми должен был бы в принципе обладать войд. Космическая миссия «Планк», которая должна начать работу в ближайшее время, способна установить более строгие ограничения на свойства предполагаемого войда и, быть может, полностью исключит гипотезу войда.

Третий подход, сторонники которого — Брюс Бассет (Bruce Bassett), Крис Кларксон (Chris Clarkson) и Тереза Лу (Teresa Lu) из Кейптаунского университета, — осуществить независимые наблюдения за темпом расширения в различных областях Вселенной. Астрономы обычно измеряют темпы расширения в терминах красного смещения, представляющего собой совокупную характеристику расширения всех пространственных областей между соответствующим небесным телом с известным красным смещением и наблюдателем. При рассмотрении всех областей вместе на основании данных по красному смещению невозможно отличить вариаций в темпе расширения от вариаций во времени. Лучше измерять темп расширения в заданных областях пространства, отделяя эффекты, вносимые другими областями. Это трудная задача, которую все еще предстоит решить. Один из подходов к ее решению — наблюдать, как формируются структуры в разных областях пространства. Формирование и эволюция галактик и галактических скоплений зависят по большей части от локального темпа расширения. Изучая эти объекты в разных пространственных областях и принимая во внимание другие эффекты, играющие роль в их эволюции, астрономы, возможно, смогут выявить некоторые различия в темпах расширения.

### Не такое уж и особенное расположение

Возможность того, что мы живем в середине гигантского космического войда — экстремальное опровержение космологического принципа, но есть и более щадящие возможности. Вселенная могла бы все-таки

подчиняться космологическому принципу на очень больших масштабах, но войды и филаменты меньших размеров, которые обнаружили с помощью галактических обзоров, совокупно могли бы имитировать эффект темной энергии. Эту идею рассматривали Тиртхабир Бисвас (Tirthabir Biswas) и Алессіо Нотари (Alessio Notari) из Университета Макгилла, а также Валерио Марра (Valerio Marra) с коллегами из Падуанского университета и Чикагского университета. Согласно их модели Вселенная напоминает швейцарский сыр — однородная как целое, но испещренная дырами. Соответственно, темп расширения меняется, хоть и незначительно, от места к месту. Лучи, испущенные далекой сверхновой, проходят через множество войдов прежде, чем достигают приборов наблюдателя. Вариации темпа расширения приводят к вариациям в яркости и красном смещении сверхновых. Однако до настоящего времени эта идея не выглядит слишком многообещающей. Один из авторов этой статьи (Клифтон) совместно с Йозефом Зунцем (Joseph Zuntz) из Оксфордского университета недавно показал, что для воссоздания эффекта темной энергии потребовалось бы множество войдов с очень низкой плотностью, к тому же специальным образом распределенных.

Другая возможность: темная энергия есть некое побочное следствие математических приближений, которые используют космологи. Для вычисления темпа космологического расширения мы обычно подсчитываем, сколько вещества находится в заданной области пространства, потом делим на объем этой области и получаем среднюю плотность энергии. Далее мы подставляем эту среднюю плотность в гравитационные уравнения Эйнштейна и определяем средний темп расширения Вселенной. Хотя плотность меняется от места к месту, мы считаем этот разброс малыми флуктуациями на фоне среднего значения.

Проблема в том, что решение уравнений Эйнштейна для усредненно-

го распределения плотности — не то же, что и их решение для реального распределения вещества с последующим усреднением по пространству. Другими словами, мы усредняем, а затем решаем, тогда как нужно было бы сначала решить уравнения, а потом уже усреднять.

Решение полного набора уравнений для любой, даже упрощенной аппроксимации реальной Вселенной, — задача невообразимо сложная, и поэтому многие из нас следуют по более простому пути. Томас Бюшер (Thomas Buchert) из Лионского университета во Франции задался целью понять, насколько хороша та или иная используемая аппроксимация. Он ввел в космологические уравнения дополнительные члены, контролируемые ошибки, которые возникают при аппроксимации до решения. Если эти добавки в уравнения невелики, то аппроксимация признается хорошей, если значи-

тельны, то, соответственно, — плохой. Результат до сих пор не однозначный. Некоторые исследователи предположили, что этими дополнительными членами можно полностью объяснить темную энергию, в то время как другие полагают, что они пренебрежимо малы.

Наблюдательные тесты, призванные различить темную энергию и модели с войдами, должны быть реализованы в ближайшем будущем. Миссия *Supernova Legacy*, возглавляемая Пьером Астье (Pierre Astier) из Парижского университета, и миссия *Joint Dark Energy*, находящаяся в стадии разработки, смогут установить историю расширения Вселенной. Миссия «Планк» и ряд наземных и баллонных экспериментов будут исследовать реликтовое излучение более детально. Проект *SKA (Square Kilometer Array)*, гигантский радиотелескоп, планируемый к введению в эксплуатацию

в 2020 г., поддержит исследования, формируя галактические обзоры вплоть до горизонта видимости. Таким образом, революция в космологии, начавшаяся десятилетие назад, еще далека до завершения. ■

Перевод: О.С. Сажина

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Geocentrism Reexamined. Jeremy Goodman in *Physical Review D*, Vol. 52, No. 4, pages 1821–1827; March 15, 1995. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9506068>
- The State of the Universe: A Primer in Modern Cosmology. Pedro G. Ferreira. Phoenix, 2007
- Cosmology: Patchy Solutions. G.F.R. Ellis in *Nature*, Vol. 452, pages 158–161; March 12, 2008
- Living in a Void: Testing the Copernican Principle with Distant Supernovae. Timothy Clifton, Pedro G. Ferreira and Kate Land in *Physical Review Letters*, Vol. 101, Paper No. 131302; September 26, 2008. <http://arxiv.org/abs/0807.1443>



## 1-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ENERGY FRESH 2009 ВЫСТАВКА И КОНГРЕСС

23-24 сентября 2009 года  
РОССИЯ. МОСКВА. ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

- Солнечная энергетика
- Энергосбережение
- Ветроэнергетика
- Инвестиции в строительство объектов
- Биотопливо
- Инновационный потенциал и перспективы развития возобновляемых источников энергии
- Гидроэнергетика

Организатор:



Компания SBCD Expo  
Тел./Факс +7 495 788 88 91/92, [info@sbcdexpo.ru](mailto:info@sbcdexpo.ru)