

# ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ И ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Наука о происхождении и эволюции Вселенной – космология – совсем еще молодая.

Ныне она переживает глубокий кризис. Фундаментальные идеи и представления, поражавшие красотой и мощью, вошедшие в учебники и энциклопедии, подвергаются пересмотру. Едва проступившая великолепная картина мироздания рассыпается на глазах.

Перед космологами в XXI веке стоят две нерешенные проблемы. Лишь наметив подходы к решению одной из них, связанной с существованием так называемой «темной материи», ученые обнаружили свидетельства существования во Вселенной «темной силы» неизвестной природы. Не будучи связанной ни с обычным веществом, ни с темной материей, эта сила проникает во все объемы, все закоулки и трещины крупномасштабных космических структур. Имя ее – «темная энергия».

### «МЫ — ДЕТИ ГАЛАКТИКИ»

Помню, в детстве я очень удивился, когда узнал, что Солнце, которое каждое утро выкатывается из-за горизонта и вечером того же дня скрывается на противоположной стороне, — это звезда. Очень большая и очень яркая звезда, потому что она расположена намного ближе к нам, чем любая другая. От других звезд мы никакого тепла не чувствуем, потому что они очень далеки. Например, от нашего светила до другой ближайшей звезды Проксима свет идет три года. Если спросить астронома, далеко ли до Проксими, он ответит: «Три световых года». Расстояние в три световых года — много это или мало? Конечно, много. Для сравнения, солнечный свет достигает поверхности Земли всего за 8 минут! Звезды далеко отстоят друг от друга.

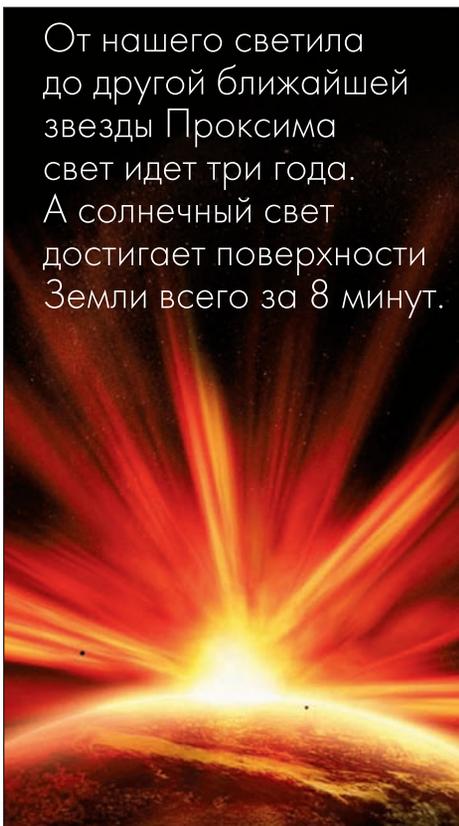
И Солнце, и Проксима, и еще 100 миллиардов звезд принадлежат нашей Галактике — огромной звездной системе с поэтическим названием Млечный Путь. Наша Галактика относится к спиральному типу галактик. У нее есть диск с хорошо выраженными спиральными рукавами, образованными яркими молодыми звездами, и ядро — утолщение в центре диска, где наблюдается относительно большая плотность скопления звезд. Звезды диска вращаются вокруг ядра.

Мы удалены на 25000 световых лет от центра нашей Галактики. Солнце со всем своим семейством из девяти планет движется вокруг галактического центра-ядра со скоростью 220 км в секунду, совершая один оборот за 200 миллионов лет. Мы не в центре и не с краю диска Галактики, а, можно сказать, где-то в «золотой середине». Наш Млечный Путь очень похож на соседнюю спиральную галактику — Туманность Андромеды.

Млечный Путь, Туманность Андромеды и еще три десятка небольших галактик образуют так называемую Местную Группу — небольшое скопление галактик. Галактики в скоплениях,

в отличие от звезд в галактиках, располагаются довольно тесно — расстояния между ними сравнимы с их размером. На больших масштабах скопления галактик образуют вытянутые образования — сверхскопления, а за пределами сверхскоплений, в промежутках между ними — пусто. Эти огромные космические пустыни астрономы называют войдами (voids), что в переводе с английского означает «пустоты». Звезды в войдах не рождаются, потому что в них очень мало вещества.

От нашего светила до другой ближайшей звезды Проксима свет идет три года. А солнечный свет достигает поверхности Земли всего за 8 минут.



### ДВИЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ И ГРАВИТАЦИЯ

Земля движется по своей орбите вокруг Солнца со скоростью 30 км в секунду. Солнце своим притяжением удерживает Землю, не давая ей улететь в дальний Космос. Эта удерживающая сила имеет гравитационную природу. Ее величина определяется солнечной массой и значительно падает с расстоянием. Меркурий — самая близкая к Солнцу планета — крепче привязан

к нашей звезде, чем, скажем, Нептун. Если поместить Землю подальше от светила, и заставить ее вращаться с прежней скоростью, то Солнечная система лишится самой прекрасной из планет. Почему? Потому что Солнечной массы не хватит, чтобы порожденная ею сила притяжения могла удержать столь удаленное тело при такой большой скорости. Сатурн и Нептун движутся по своим далеким орбитам гораздо медленнее, чем Земля — по своей. Иначе они улетели бы за пределы Солнечной системы. Отсюда правило: чем дальше планета от Солнца, тем меньше ее орбитальная скорость. Эту закономерность еще четыре века назад заметил пражский монах-астроном Иоганн Кеплер. Она получила свое математическое воплощение в физическом законе всемирного тяготения Исаака Ньютона.

Гравитация «работает» всюду. Это единственная из фундаментальных сил, которая действует на космических расстояниях. Она принуждает тяжелые массы держаться вместе, образуя такие гравитационно-связанные системы, как галактики и их скопления. Солнце и планеты, Земля и Луна — это тоже примеры гравитационно-связанных систем.

У гравитации есть одна особенность — ее действие сводится к взаимному притяжению массивных тел. Не существует «гравитационного отталкивания» тел. Чтобы не превратиться под действием сил взаимного притяжения в одну общую гравитирующую массу, космические тела должны пребывать в постоянном движении. Гравитационно-связанные системы потому существуют стабильно и долго, что у них наблюдается баланс сил — сил взаимного притяжения, стремящихся удержать космические объекты в пределах системы, и центробежных сил, которые вызваны относительным движением объектов и не позволяют им слиться в одно целое в одном месте. Чем больше масса системы, тем выше должны быть скорости составляющих ее объектов. Звезды на ночном небе кажутся нам

неподвижными лишь потому, что они далеки от нас и расстояния между ними тоже огромны.

### САМАЯ БОЛЬШАЯ «ОШИБКА» ЭЙНШТЕЙНА

**В** начале XX века астрономы и философы считали Вселенную стационарной, вечной и бесконечной. Вопрос о рождении Вселенной не возникал. Основываясь на этих казавшихся естественными предположениях, знаменитый физик

Эйнштейн как бы гвоздями прибил галактики к тверди небесной.

на искусственность этой меры указал петербургский математик Александр Фридман. Он показал, что найденное Эйнштейном решение – лишь частный

...расширение пространства означает, что Вселенная не стационарна. И более того, у нее есть начало и может быть конец. Человеку классического мировоззрения нелегко принять такую модель мира.

А Эйнштейн попытался применить свою только что рожденную общую теорию относительности (ОТО) ко всей Вселенной в целом. Решая уравнения ОТО, он столкнулся с проблемой: получалось, что рано или поздно все вещество стационарной Вселенной под действием гравитационных сил непременно соберется в один огром-

случай более широкого спектра решений, что портит уравнения ОТО, вводя космологическую постоянную, вовсе не обязательно. Вместо этого он предложил искать решение уравнений ОТО не в стационарном, а в равномерно расширяющемся пространстве.

Однако расширение пространства означает, что Вселенная не стацิโอ-

нарна. И более того, у нее есть начало и может быть конец. Человеку классического мировоззрения нелегко принять такую модель мира.

Тем не менее, после непродолжительной полемики в физическом журнале, Эйнштейн согласился с мнением Фридмана. Вскоре идеи Фридмана блестяще подтвердило открытие американского астронома Эдвина Хаббла. Ныне практически ни у кого не осталось сомнений, что Вселенная расширяется.

Позже Эйнштейн назвал идею о космологической постоянной «самым большим промахом в своей жизни». Но у гениев и ошибки гениальны. На рубеже веков многие ученые вновь возлагают надежды на космологическую постоянную как на спасительную идею. Но все по порядку.

### РАЗБЕГАНИЕ ГАЛАКТИК

**С**овременная космология берет свое начало с открытия Э. Хаббла. В 1929 году он обнаружил так называемое «разбегание галактик». Это произошло, когда с помощью самого мощного в то время телескопа Хаббл исследовал спектры света от этих далеких объектов. Разлагая свет в спектрометре, он заметил, что спектральные линии регулярно смещены в



В момент рождения Вселенной все ее вещество было заключено в очень малом объеме – сжато до чудовищных плотностей и разогрето до предельных температур.

красную сторону, в сторону меньших частот. Причем смещены тем сильнее, чем дальше от нас расположена галактика. Изменение частоты света от далеких галактик, вызывающее смещение линий в их спектрах, связано с эффектом Доплера – того эффекта, который используется работниками ГАИ для определения скорости движения транспортного средства. В наблюдениях Хаббла уменьшение частоты света от галактик могло означать только одно – галактики удаляются друг от друга, расстояние между ними растет, пространство расширяется.

Создается впечатление, что галактики вылетели из одного центра. Не найдя лучшего объяснения, ученые предположили, что наблюдаемый разлет галактик – это результат Большого Взрыва, случившегося в далеком прошлом. Последующая эволюция вещества с образованием космических структур, включая галактики и их скопления, происходит на фоне равномерного расширения пространства – расстояния между галактиками с течением времени увеличиваются.

### ГОРЯЧЕЕ РОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

**В**ажный вклад в развитие наших представлений о Вселенной сделал в 1946 году американец – выходец из СССР – Георгий Гамов, выдвинув гипотезу горячего рождения Вселенной. В момент рождения Вселенной, предположил он, все ее вещество было заключено в очень малом объеме – сжато до чудовищных плотностей и разогрето до предельных температур. При взрыве высвободилось колоссальное количество энергии, заключенной в Космологической Сингулярности – так теперь называют состояние Вселенной в самый первый момент времени ее существования.

Что было до этого момента, откуда взялась энергия Большого Взрыва – наука космология не отвечает на эти вопросы, оставляя их философам и теологам.

Галактики удаляются друг от друга, расстояние между ними растет, пространство расширяется.



...Создается впечатление, что галактики вылетели из одного центра. Не найдя лучшего объяснения, ученые предположили, что наблюдаемый разлет галактик – это результат Большого Взрыва...

Итак, при дальнейшем расширении и остывании материальная среда проходила последовательные стадии трансформации, прежде чем предстать перед нами в своем современном виде. Уже в первые мгновения в первичном «сингулярном» сгустке энергии появились элементарные частицы – вначале наиболее тяжелые, о свойствах которых мы только-только стали строить некоторые предположения, а затем легкие – вплоть до знакомых нам протонов, нейтронов, электронов, из которых состоят атомы и молекулы обычного вещества. В космологии и астрофизике это вещество называют барионной материей.

### ВЕЩЕСТВО И ИЗЛУЧЕНИЕ

**И**злучение, отделившееся от вещества в ту эпоху соединения протонов и электронов, сохранилось до наших дней. За прошедшие, предположительно, 14 миллиардов лет его температура понизилась до 2,7 градусов по абсолютной шкале Кельвина (примерно минус 270 градусов Цельсия) – это ниже температуры жидкого гелия. Открытие в 1965 году этого реликтового излучения, однородно заполняющего все пространство, послужило блестящим подтверждением горячей модели Гамова.

После отделения от излучения барионное вещество под действием гравитационных сил стало собираться в крупномасштабные сгустки, из которых в дальнейшем сформировались скопления галактик, сами галактики и звезды внутри них.

Так предполагалось в модели Гамова. Однако теперь уже нет сомнений, что наряду с барионным веществом в формировании структур принимала участие так называемая «темная материя». Иначе, как показывает компьютерное моделирование, структуры не успевают формироваться, вещество рассеивается под действием «общего хаббловского потока» – так по-другому называют расширение пространства Вселенной.

## ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Гипотеза о темной материи возникла в 1931 году. Швейцарец Фриц Цвикки пересчитал все галактики в одном скоплении и по их светимости – чем ярче, тем больше звезд, тем тяжелее – оценил общую массу. Затем по красному смещению спектральных линий Цвикки определил разброс скоростей галактик. И тогда он обнаружил, что скорости слишком велики и найден-

## Некоторые горячие головы призывали столкнуть Ньютона и его закон всемирного тяготения с корабля новой физики!

ного по светимости количества материи явно недостаточно. Гравитационное поле, порожденное такой небольшой массой, не удержит галактики в скоплении – улетят и не вернуться. Почему не улетают?

Цвикки выдвинул смелую гипотезу: в богатых скоплениях присутствует невидимая, скрытая масса, которая и удерживает галактики. Большинство астрономов скептически восприняли его результаты. А может, скопление галактик – это временная конструкция, говорили они. Может, она распадается, а галактики – разлетаются. Тогда никакой скрытой массы не надо, хватит и той, что светится. Короче, не поверили.

Не поверили и молодому датчанину Яну Оорту, который в 1932 году изложил свои исследования динамики звезд нашей Галактики. Оорт рассуждал: поскольку эти силы, удерживающие звезды в пределах диска, имеют гравитационный характер, то можно на основании измеренных скоростей звезд оценить требуемое количество вещества. В своих вычислениях он учел массы всех известных к тому времени типов звезд в диске, а также вклад облаков космического газа и пыли, – однако суммарная величина «видимой» массы оказалась заметно меньше ожидаемой – всего лишь 30–50% от значения, необходимого для того, чтобы звезды

не покинули пределы Галактики.

В 1960 году Оорт повторил вычисления и получил тот же результат. Все равно не поверили...

## КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ

Наступили 70-е годы. Стало возможным измерение скоростей вращения звезд и газовых облаков галактического диска вокруг центрального ядра галактики. Научились строить экспериментальные зависимости скорости вращения вещества галактики от расстояния до ее центра. Эти зависимости получили название «кривые вращения».

Если предположить, что силы, удерживающие звезды диска на круговой орбите, имеют гравитационную природу, то можно на основе кривых вращения оценить массу вещества галактики и ее распределение вдоль радиуса.

Астрономы с молоком альма матер усвоили, что масса светящейся материи, т. е. количество звезд в диске, сильно убывает с удалением от центра галактики. В популярных книжках тех лет кривую вращения для звезд галактики уверенно рисовали спадающей к краю диска. Никто скорости звезд не измерял (техника еще не позволяла), но логика подсказывала, что звезды диска вращаются вокруг тяжелого ядра словно планеты – вокруг Солнца: чем дальше от центра, тем меньше скорость вращения.

И вот на сцену выходит Вера Рубин, которая казалась инопланетянкой в элитном астрономическом обществе, состоящем почти сплошь из мужчин. Она продемонстрировала ученому миру вожделенные кривые вращения. Наверное, Вера Рубин не читала популярных книжек. Или не любила, когда ей подсказывали – даже если это сама Логика. Она просто просканировала с помощью спектрометра видимые с ребра галактические диски от центра к краю и построила экспериментальные кривые вращения.

Это был шок! Кто бы мог подумать, что скорости звезд к краю диска не только не уменьшаются, оставаясь

постоянными, но даже заметно возрастают...

Это могло означать только одно – галактика окружена гало (оболочкой, короной) из несветящейся материи. Невидимое вещество гало своим гравитационным полем не дает звездам покинуть галактику и тем самым спасает ее от распада. Без этой невидимой массы галактика непременно распадется.

На сегодняшний день кривые вращения – самое убедительное свидетельство в пользу существования темной материи во Вселенной. Спрашивается: что это за материя и почему не видна? Это, конечно, вопрос! Очевидно только основное ее свойство: она создает гравитационное поле (имеет массу), но не излучает (или почти не излучает) электромагнитных волн.

## КАНДИДАТЫ НА РОЛЬ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Астрономы никогда и не отрицали, что в космическом пространстве много темных или слабосветящихся объектов – из обычного, барионного, вещества. Например, всем известно, что звезды рождаются, некоторое время горят и светят, а затем гаснут. И вот эти звездные остатки и составляют темную материю. Да, да, эти нейтронные звезды, коричневые и белые карлики, черные дыры, наконец, – чем не темная материя? – горячились старые астрономы. Вам этого мало? Добавьте планеты, типа Юпитера – чтобы потяжелей. А еще есть космический газ и космическая пыль. Сколько вам надо?

Много надо, однако. Мы живем во Вселенной, в которой, как выяснилось, львиную долю вещества составляет темная материя, а не светящееся вещество. Представим, что звездные остатки в достаточно большом количестве присутствуют в темном гало нашей и соседних галактик. Тогда вокруг далеко расположенных галактик, свет от которых идет многие миллионы лет, мы наверняка наблюдали бы очень яркие гало – ведь потухшие звезды в прошлом светили. Хорошо, возьмем планеты. Даже если они гигантские, как наш Юпитер, все равно их нужно огромное количество, чтобы обеспе-

читать необходимую массу темного гало вокруг галактики, потому что отдельная планета во много раз легче обычной звезды типа нашего Солнца. Кроме того, планеты не могут появиться самостоятельно, без звезды. Много планет – много звезд. Эти звезды превратили бы темное гало в ярко светящееся – чего не наблюдается. И, наконец, газ и пыль тоже не подходят на роль темной материи, потому что на самом деле они излучают (особенно газ) и поглощают (особенно пыль) электромагнитные волны различной частоты. Такую материю можно было бы непосредственно «видеть», а не только судить о ее присутствии по гравитационному эффекту.

Нет, к сожалению, обычная барионная материя не годится на роль скрытой массы.

И тогда, потеснив старых астрономов, на сцену выскочили «новые физики». Они стали предлагать на роль темного вещества разного рода экзотические частицы из зоопарка только что возникшей суперсимметричной теории микромира. Заодно принялись рекламировать гипотетические космические струны и суперструны, магнитные монополи и даже дефекты пространства-времени. Некоторые горячие головы призывали столкнуть Ньютона и его закон всемирного тяготения с корабля новой физики!

Теория суперсимметрии значитель-

Эту силу называют темной энергией, однако никто не может объяснить, что скрывается за этим понятием.

но (и довольно произвольно) расширяет номенклатуру элементарных частиц. В ней каждой известной элементарной частице сопоставляется суперсиммет-

«Картина становится невероятно сложной и отвратительной. Я даже не уверен, правильные ли вопросы мы задаем!»

ричная пара. Физики в этой схватке идей одержали верх. Им человечество поручило разрешить проблему века – поймать

меньше и меньше. Слишком редки были случаи, когда темный компактный объект при своем движении загородит свет от далекой звезды или галактики – и в течение нескольких дней наблюдается увеличение яркости, как при солнечном затмении, когда вспыхивает

корона нашего светила. Слишком редко это случалось, а значит, очень мало таких темных компактных объектов в гало нашей Галактики и не они составляют невидимое вещество.

В поединке за обладание истиной физики потеснили астрономов. Поиски темной материи – их прерогатива. Воодушевленные одержанной победой, физики погнались за двумя зайцами. Если им удастся поймать хоть какую-нибудь гипотетическую частицу – из тех, что в изобилии предсказывает теория суперсимметрии, то тем самым, во-первых, будет подтверждена концептуальная состоятельность новой физики, а во-вторых, темная материя перестанет быть такой «темной». Ведь изучая свойства суперсимметричных частиц, можно много узнать о темной материи, поскольку она, по мнению новых физиков, состоит именно из таких частиц.

Они спускают свои чуткие приборы в глубокие шахты и пещеры. Они развешивают гирлянды фотоумножителей в озерах (например, в озере Байкал). Они сталкивают тяжелые атомные ядра на гигантских ускорителях-коллайдерах и с усердием священных египетских жуков собирают и регистрируют своими хитрыми счетчиками и детекторами все, даже самые мелкие, осколки-час-

частицы темной материи, и правительства развитых стран направили инвестиции на строительство новых гигантских ускорителей и доселе невиданных детекторов.

Уязвленные астрономы вернулись к своим стареньким телескопам и антеннам. Без былого энтузиазма направляли они свои астрономические глаза и уши в самые далекие уголки Вселенной.

Еще тлеет надежда, что темная материя состоит все-таки из обычного, барионного, вещества. Но с каждым годом шансов доказать это становилось все



тицы, которые в великом множестве рождаются при лобовом столкновении разогнанных до субсветовых скоростей тяжелых ядер.

Новые физики ловят вимпы. Что это такое? Вимпы (английская аббревиатура WIMPs) — так называются слабо взаимодействующие элементарные частицы, обладающие ненулевой массой покоя. Ловят физики вимпы, но пока безрезультатно. Тайна темной материи остается неразгаданной.

## ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

**А** в 1998 году – новое потрясение. Была открыта «темная энергия».

Звезда в конце своей эволюции может взорваться. Тогда на небе – в том месте, где ничего видно не было, – наблюдается яркая вспышка. За несколько дней светимость вырастает во много раз и, достигнув максимума, постепенно спадает. Такие взорвавшиеся звезды называют Сверхновыми. Они бывают нескольких типов, один из которых особенно ценят астрономы – это Сверхновые типа Ia. Их называют «стандартными свечами». Дело в том, что эти Сверхновые излучают одинаковое количество энергии в момент достижения максимальной светимости.

Астрономы измеряют световой поток от Сверхновой и строят так называемую «кривую блеска» – зависимость светового потока от времени. Делается это, чтобы как можно точнее измерить световой поток в момент наибольшей светимости взорвавшейся звезды. Тогда легко определить, на каком расстоянии произошел взрыв. Чем меньше зарегистрированный максимальный поток, тем дальше находится Сверхновая.

И вот в 1998 году астрономы смогли получить кривую блеска для Сверхновой, взорвавшейся в очень далекой галактике. Определенное по максимуму светимости расстояние до этой галактики оказалось заметно больше того, что можно ожидать при свободном разлете вещества после Большого Взрыва согласно модели Фридмана. Звезда в момент максимальной светимости выглядела более тусклой. Это означает лишь одно: Вселенная расширяется с

ускорением. Темп расширения Вселенной со временем растет, и сейчас он выше, чем в далеком прошлом.

Всякое ускоренное движение происходит под действием некоторой силы. Но какая же сила вызывает ускорение расширения Вселенной? Какая энергия заставляет галактики разбегаться быстрее? Эту силу называют темной энергией, однако никто не может объяснить, что скрывается за этим понятием.

Темная энергия равномерно распределена во Вселенной – ее плотность в скоплениях такая же, как и вне их. Значит, она не связана ни с обычным веществом, ни с темной материей, которая собирается в тех же крупномасштабных структурах, что и вещество обычное – барионное. Темная энергия – эта непонятная субстанция – как бы расталкивает саму себя и заставляет галактики разлетаться с большей скоростью.

С открытием ускоренного расширения Вселенной маятник удачи качнулся в сторону астрономов. Темная энергия – их прерогатива. Эту субстанцию можно изучать только с помощью телескопов, она проявляет себя только на огромных космических расстояниях. Детекторы и ускорители физиков тут бессильны.

Однако в среде астрономов не ощущается большой радости по поводу «реванша». Проблема представляется неразрешимой. Под угрозой проверенная временем стандартная модель «Большого Взрыва». Профессор Марио Ливио из Института космических телескопов просто хватается за голову: «Картина становится невероятно сложной и отвратительной, – жалуется он. – Я даже не уверен, правильные ли вопросы мы задаем!».

До сих пор находятся скептики, которые отказываются верить в существование темной энергии и вызванного ею ускоренного расширения пространства. Такое ускорение, по их мнению, противоречит здравому смыслу и просто невозможно.

Физики обескуражены. Они застигнуты врасплох, похоже, им нечего предложить по существу. Разве что списать все на вакуум. Предположить

в нем отрицательное давление. Из-за этого отрицательного давления в веществе возникает сила, приводящая к дополнительному расталкиванию галактик. Но вакуум – это вещь в себе. Ничего конкретного об этой субстанции науке не известно. Пустота – она и есть пустота.

Привлекли Эйнштейна, вспомнив его самую большую научную ошибку – космологическую постоянную. Если эту постоянную снова ввести в уравнения, то появится эффект антигравитации, приводящий к ускоренному расширению Вселенной. Однако космологическая постоянная предполагает некоторую кривизну пространства-времени. А свойства реликтового излучения свидетельствуют о том, что наша Вселенная «плоская», никакой кривизны не имеет.

В этой «темной» истории ясно одно: необходимы новые фундаментальные идеи о пространстве, времени и материи. ■

## ЭПИЛОГ:

За последние годы наши представления о Мироздании решительно изменились. Сегодня перед нами предстает следующая картина Вселенной: на долю обычного вещества приходится всего лишь 5% всей массы. Темная материя составляет примерно 20-25%. Основная же доля – 70-75% общей массы – приходится на самую загадочную субстанцию – темную энергию.