

Дело темное

Опубликованные в марте этого года результаты новейших наблюдений подтверждают: обычное вещество составляет лишь 4% массы Вселенной



ЗВЕЗДНА ПЫЛЬ

Туманность «Конская голова» – всего лишь гигантское облако обычной пыли. Ученые могут наблюдать ее собственное тепловое излучение, так что назвать пыль темным веществом можно лишь условно



На фоне спирально-го узора нашей Галактики проступают темные волокна - это газопылевые облака. Одно из них - Глобула Теккерера - на фото справа



За последние несколько столетий астрономическая наука нанесла ощутимые удары по самолюбию человека. Сначала из центра Вселенной была удалена «колыбель человечества» Земля, потом - Солнце. Затем выяснилось, что наша Галактика не единственная в космосе, и даже не самая большая. Просто один из миллиардов звездных островов, расположенный на задворках крупного скопления галактик, а то и вообще за его пределами. Глухая вселенская провинция, пусть и преисполненная сознания собственной важности...

Земля, Солнце, Млечный Путь и другие галактики - все это оказалось вдруг лишь блестящим налетом на таинственной непроницаемой черной основе мироздания. Взлеты и падения цивилизаций, образование и гибель планет, взрывы звезд, столкновения галактик и прочие события, которые, как нам кажется, заполняют

Вселенную, на самом деле имеют к ее жизни такое же отношение, как узкая полоса прибой - к жизни Мирового океана...

Межзвездное пространство не пусто

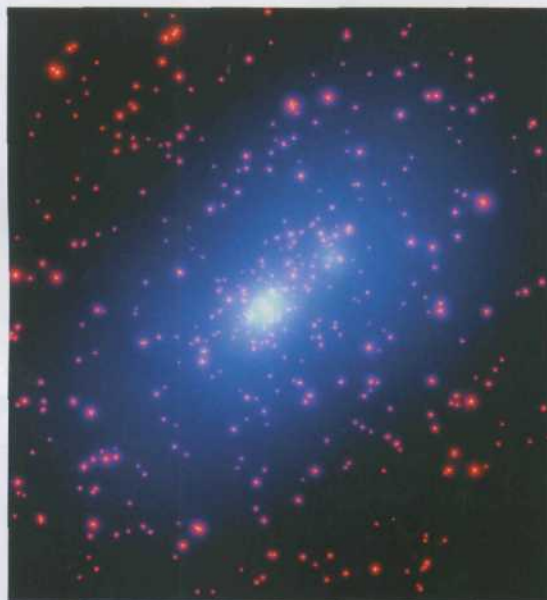
Глядя на ночное небо, довольно трудно поверить, что кроме звезд и планет во Вселенной есть что-то еще. Однако основатель Пулковской обсерватории Василий Яковлевич Струве еще в середине XIX века обнаружил: количество звезд в единице объема убывает с удалением от Солнца. Струве предположил, что, долетая до нас, свет звезд ослабевает пропорционально пройденному расстоянию в результате взаимодействия с каким-то веществом. Его назвали темным. В астрономии темное - значит несветящееся. Уместно и другое значение: темное как неясное, непонятное...

Межзвездное вещество - это просто пыль, микроскопические частички соединений углерода и кремния. Пыль рассеяна в пространстве неравномерно - она собрана в плотные облака, скрывающие свет расположенных за ними звезд.

На фоне звездной россыпи эти облака кажутся черными провалами. По старой памяти астрономы все еще называют их темными, хотя пыль не только поглощает свет звезд - она сама светится, правда, не в видимом, а в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах.

Но это не главный «наполнитель» пространства между звездами. На каждый грамм пыли приходится 100 г межзвездного газа - главным образом смеси водорода и гелия. Внутри галактик массовая доля газа составляет несколько процентов (остальное собрано в звездах), в межгалактическом пространстве газа гораздо больше.

В скоплениях галактик его масса в несколько раз превышает суммарную массу самих звездных островов! По сути, скопления - это облака газа с небольшой звездно-галактической «примесью». Но даже такая формулировка не отражает истинного положения вещей.



GEO АВТОР



Ведущий научный сотрудник Института астрономии РАН Дмитрий Виб написал для нас биографию Стивена Хокинга (GEO №1/2006). Это его вторая статья для нашего журнала

Если смотреть в обычный телескоп, пространство между галактиками в скоплениях кажется совершенно пустым. На снимках в рентгеновском диапазоне видно, что скопления погружены в гигантские облака раскаленного газа

Галактики в скоплениях не разлетаются благодаря таинственной силе

Вселенная - это царство гравитации. Основная характеристика любого астрономического объекта - его масса. Массу звезды определяют по форме линий в ее спектре или по гравитационному действию, которое она оказывает на другие объекты. Если две эти оценки совпадают, значит, с нашими теоретическими представлениями о природе объекта все в порядке. Если расходятся - значит, мы что-то упускаем из виду. Сильное расхождение в оценках массы - признак каких-то очень серьезных заблуждений.

Скрытая масса и другие загадки

Но откуда бы взялись заблуждения? Вот они - галактики, видны даже в небольшой телескоп. Вот горячий газ, заполняющий пространство между ними. Его, правда, в обычный телескоп не увидишь, но с помощью рентгеновских телескопов - легко. Находим суммарную массу галактик, прибавляем массу газа и получаем полную массу скопления. Для типичного скопления галактик, скажем, в созвездии Девы, она равна нескольким десяткам триллионов масс Солнца.

Можно пойти и другим путем. Сила, которая связывает скопление в единое целое, - гравитация. Если скорость галактики превышает вто-

рую космическую для данного скопления, она может вырваться из его гравитационных объятий и отправиться в свободный полет. Чем массивнее скопление, тем быстрее должна двигаться галактика, чтобы покинуть его.

Однако еще в 1930-е годы Фриц Цвикки заметил: галактики в скоплениях движутся быстрее второй космической скорости. Но тогда скопления попросту не могут существовать! Однако существуют, а значит в чем-то мы ошибаемся. В чем же, если все скопление лежит перед нами как на ладони? Или не все?

Видимая масса типичного скопления слишком мала, чтобы удержать входящие в него галактики от разлета. Значит, заключил Цвикки, в скоплениях имеется невидимое темное вещество. Мало того - там его в десяток раз больше, чем светящегося, видимого. Можно сказать, что скопление галактик представляет собой конденсацию «непонятно чего» с небольшой примесью газа и галактик. Существует скрытая масса некоей загадочной сущности, которую называют темным веществом или темной материей. Сами галактики тоже обладают скрытой массой. Наша Галактика (точнее, ее видимая часть) представляет собой плоский вращающийся газо-звездный диск. Солнце удалено от его центра на ▶



Одним из авторов идеи темной материи был американский астроном Фриц Цвикки (1898 - 1974). Он также предсказал существование нейтронных звезд и выдвинул гипотезу о связи галактических космических лучей со вспышками сверхновых звезд

Новейшие технологии и высочайший уровень производительности.



Сделайте Ваш выбор в пользу Flextron Maxima D на базе двухъядерного процессора Intel® Pentium® D и откройте новые возможности Вашего ПК.



При покупке компьютера Flextron Maxima D получи карту постоянного покупателя в магазинах Ф-Центра в подарок.

САЛОНЫ-МАГАЗИНЫ:
ст.м. "Бабушкинская", ул. Сухонская, 7А
ст.м. "Улица 1905 года", ул. Мантулинская, 2
ст.м. "Владыкино", Алтуфьевское ш., 16

СЕРВИС-ЦЕНТР:
ст.м. "Бабушкинская", ул. Молодцова, 1
ФОТО ИНТЕРНЕТ КАФЕ:
ст.м. "Владыкино", Алтуфьевское ш., 16

ЕДИНЫЙ СПРАВОЧНЫЙ
(495) 105-64-47

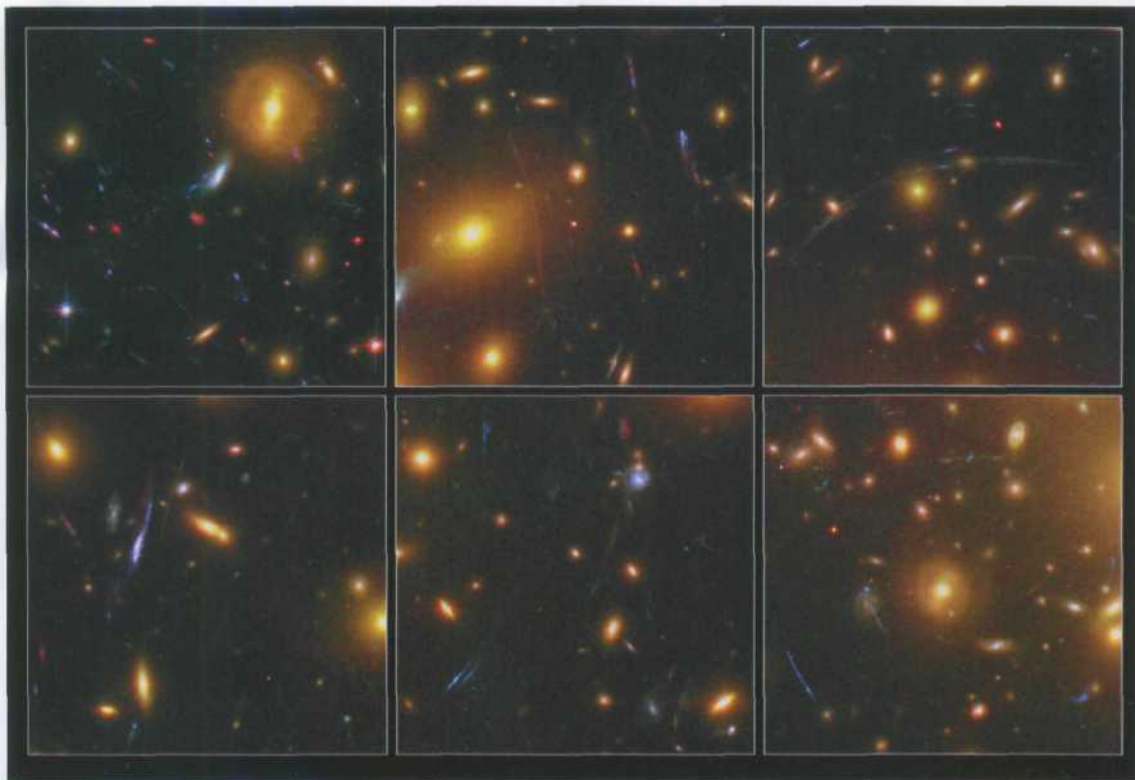


3000 наименований товаров - Самый выгодный кредит за 15 мин. - Время работы: 10-20, без выходных - Бесплатная доставка* - Удобная автостопка - Резервирование товара через интернет - Пункт обмена валюты - Оплата кредитными картами - Подарки покупателям - Соответствие стандартам - Техническая поддержка - Магазины ассесуаров - Магазины компьютерной литературы - Обучающий курс для работы на ПК в комплекте

* полную информацию о товарах и услугах в конкретных магазинах компании «Ф-Центр» уточняйте на сайте www.fcenter.ru



Штрихи на этих фотографиях - не дефекты съемки. Это далекие галактики, видимые через гравитационную линзу темного вещества в скоплении галактик A 1689. Невидимая материя, оказавшаяся на пути между далекими звездными системами и телескопом Хаббла, заставила лучи света немного изогнуться, и галактики потеряли правильные очертания



► 25 000 - 30 000 световых лет и, двигаясь по галактической орбите со скоростью около 220 км/с, совершает полный оборот примерно за 200 млн лет. Светящееся вещество в диске сильно «стянуто» к ядру Галактики, а сила тяготения, управляющая движением звезд, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Таким образом, чем дальше от основной массы Галактики, тем медленнее должны двигаться звезды? Однако в 1970-е годы выяснилось, что это предположение неверно. Звезды и газовые облака, далекие от центра нашей и других похожих галактик, стремительно несутся по своим орбитам - словно не желая знать, что там, где они находятся, галактика уже практически закончилась...

Поиск кандидатов

Что воздействует на них в пространстве, которое кажется почти пустым? Скрытая масса, темное вещество внутри самих галактик. Чтобы описать

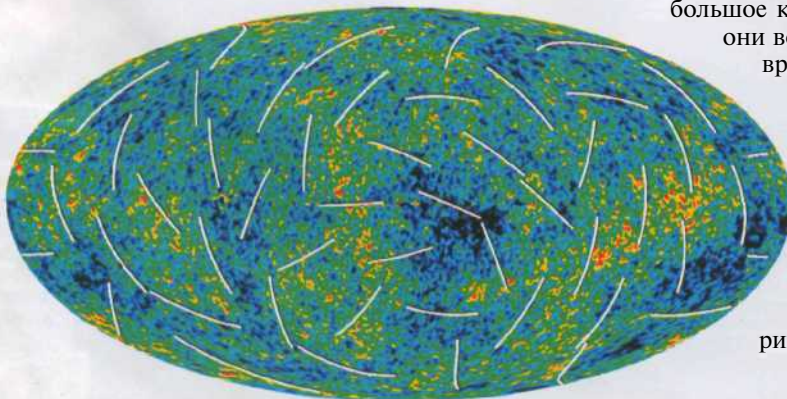
движение звезд на окраинах нашей Галактики, приходится допустить, что она окружена обширным темным гало. Его размеры и масса по меньшей мере в несколько раз превосходят размеры и массу видимого диска.

Поначалу многим ученым идея темного вещества казалась надуманной. Но сейчас накоплено так много данных, что отмахнуться уже нельзя. Осталось только выяснить, что представляет собой темное вещество. На эту роль претендуют несколько кандидатов.

Быть может, это просто космические объекты, которые не излучают свет? Или излучают его так слабо, что видны лишь на небольшом (в галактических, конечно, масштабах) расстоянии. Такие объекты - коричневые и белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры, планеты, компактные газовые облака - во Вселенной имеются. Они состоят или состояли в прошлом из барионов - обычных протонов и нейтронов. Сформированное из этих объектов темное вещество назвали барионным.

Но откуда взялось вокруг нашей Галактики большое количество подобных объектов? Ведь они возникли не на пустом месте и до превращения в темное вещество должны были оставить свой след. Допустим, например, что темное гало состоит из нейтронных звезд - остатков массивных звезд, завершивших свой век грандиозным взрывом - вспышкой сверхновой. Мог ли взрыв миллиардов сверхновых вокруг Галактики пройти для нее бесследно? Так возникла гипотеза о небарионном темном веществе, состоящем из

На карте показано неравномерное распределение яркости и поляризации реликтового излучения, сохранившегося со времен, когда галактик еще не было. Эта неравномерность еще раз подтвердила, что Вселенную образует не только обычная, но и темная материя



Нас окружают следы Взрыва, произошедшего более 10 млрд лет назад

пока неизвестных элементарных частиц. Они почти не взаимодействуют с обычным веществом и потому их до сих пор не засекали.

Нейтралино - ваш надежный суперпартнер!

Одно время считалось, что темная материя - это нейтрино. Но эксперименты показывают: суммарная масса нейтрино хотя и не равна нулю, но все же слишком мала, чтобы списать на нее все «пропавшее» вещество.

Скорее всего, речь все-таки идет о частицах нового типа. Их существование согласуется с новейшими представлениями о строении вещества, в частности, о двух основных видах элементарных частиц - фермионах и бозонах.

В нашем сравнительно холодном мире материя состоит из фермионов (например, протонов и нейтронов). А бозоны (например, частицы света - фотоны) обеспечивают перенос взаимодействия между ними. Но при очень высокой температуре - выше, чем температура в недрах звезды - разница между частицами материи и частицами-переносчиками стирается: они начинают вести себя одинаково.

Тождественность фермионов и бозонов при высоких температурах - основа теории суперсимметрии. Физики совершенно уверены: доказательства осталось ждать несколько лет. Их ищут во многих лабораториях мира, в России - в нейтринных обсерваториях в Баксане (Северный Кавказ) и на Байкале.

А ведь эксперимент по получению элементарных частиц сверхвысоких энергий уже проведен! И хотя закончился он больше 10 млрд лет назад, следы окружают нас со всех сторон. Все мироздание и мы сами являемся не чем иным, как итогом этого грандиозного эксперимента - Большо-

го Взрыва. Согласно теории суперсимметрии, в первые доли секунды после рождения Вселенной все ее частицы были равны и одинаковы. Затем Вселенная расширилась, остыла, и равенства в ней не стало. Наряду с протонами, нейтронами, электронами, фотонами, нейтрино и другими известными элементарными «кирпичиками» суперсимметрия предполагает целый «зоопарк» неизвестных частиц. Вернее, Ноев ковчег - ведь неизвестные частицы образуют пары с известными: у каждого фермиона есть парный бозон и наоборот. Эти пары называют суперпартнерами.

Суперпартнеры известных частиц очень слабо взаимодействуют с обычным веществом - значительно слабее, чем даже всепроникающие нейтрино. На научном жаргоне их называют вимпами (*WIMP, weakly interacting massive particles* - «слабовзаимодействующие массивные частицы»). Увидеть вимпы очень сложно, но можно «почувствовать»: обладая массой, они создают вокруг себя гравитационное поле.

Совокупное влияние таких частиц, оставшихся после Большого Взрыва, вполне могут ощущать на себе галактики. Чем не темное вещество? Наиболее вероятный претендент на его роль - самая легкая суперсимметричная частица нейтралино. Хотя с ней и другими вимпами конкурирует другая невидимая частица - аксион, существование которой предсказывает современная наука.

Галактики окутаны облаками из нейтралино, аксионов и других невидимых частиц. Считается, что в догалактическую эпоху эти облака послужили гравитационными затравками: к ним стягивалось обычное вещество - строительный материал для первых звезд. На научном языке эти затравки называют первичными флуктуациями плотности, их свойства навеки запечатлены в виде прост-



Частицы фермионы получили свое название в честь итальянского физика Энрико Ферми (1901-1954), который первым описал их свойства. Правда, в истории Ферми более известен как один из «отцов» атомной бомбы

КАРМАННЫЕ ПЕРЕВОДЧИКИ ЭКТАКО

Скорость освоения языка возрастает многократно!



Partner®

ВСЬ мир
в кармане



Союз переводчиков России рекомендует

Для изучения иностранных языков, переводов и зарубежных поездок.

Международная гарантия 1 год. Сделано в США.

Москва (495) 737-8910
С.-Петербург (812) 545-3838

Киев (044) 516-5712
Минск (017) 209-8484

ЭКТАКО
www.ectaco.ru

Судьба Вселенной зависит от темной энергии. Так что же это такое?



В 2001 году американский ученый Адам Рис всколыхнул мировую научную общественность, сообщив, что Вселенная не просто расширяется, но расширяется с ускорением

Сердце лаборатории по исследованию элементарных частиц Гран-Сассо (Италия) - это резервуар с триметилбензолом. При взаимодействии нейтрино с молекулами триметилбензола возникают крохотные вспышки света, за которыми следят 2200 фотоумножителей

▶ ранственных вариаций интенсивности реликтового излучения. Исследуя их, ученые и установили, что только 4% массы Вселенной приходятся на обычное вещество. Еще 23% заняты небарионной темной материей (нейтрално, аксионы и пр.). А как быть с оставшимися 73%?

Мы можем считать себя акционерами ЗАО «Вселенная», которые на очередном собрании обнаружили, что им неизвестно, кому принадлежит контрольный пакет!

Главный промах Эйнштейна

Согласно эйнштейновской теории относительности Вселенная не может существовать вечно. Если признать ее царством одной только гравитации, нужно согласиться с тем, что со временем все вещество стянется в одну точку. Эйнштейну эта перспектива не нравилась настолько, что он ввел в свои уравнения так называемый лямбда-член - гипотетическое всемирное отталкивание, которое должно было противодействовать всемирному тяготению.

Но в 1929 году выяснилось, что Вселенная расширяется: взаимопротяжению галактик противостоит их разбегание, порожденное Большим Взрывом. Значит, необходимость во взаимном отталкивании отпадает? Эйнштейн даже признался советско-американскому астрофизику Георгию Гамову, что считает изобретение лямбда-члена своим самым большим промахом. Но шло время, и ошибка перестала быть очевидной... Как пишет тот же Гамов, космологическая посто-

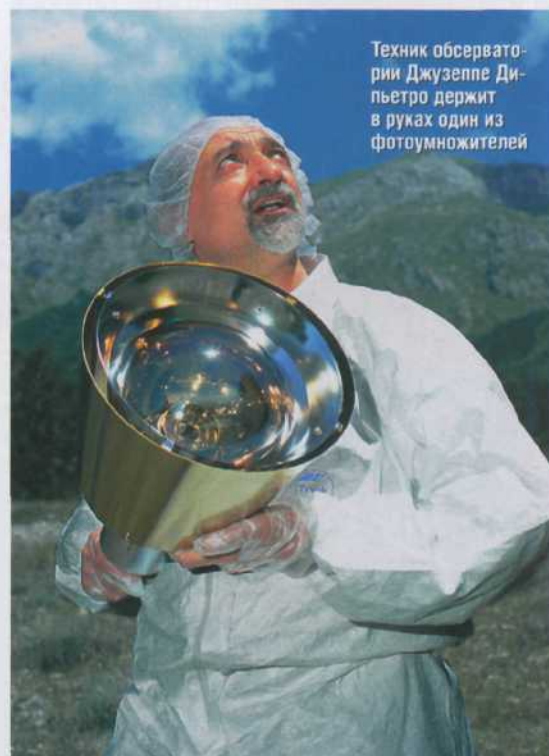
янная «продолжает поднимать свою гадкую голову». Правда, теперь ее называют по-другому - антигравитация, квинтэссенция, энергия вакуума или темная энергия.

Чем закончится расширение Вселенной, какова судьба нашего мира? Тут есть над чем задуматься не только ученым. Если средняя плотность вещества во Вселенной больше некоего критического значения, силы гравитации рано или поздно остановят разлет галактик, и он сменится сжатием: Вселенная снова стянется в точку. Если плотность меньше критической, Вселенная будет расширяться бесконечно...

Согласно так называемой инфляционной теории (в ее разработке большую роль сыграли советские и российские физики), в первые доли секунды своего существования Вселенная пережила катастрофическое «раздувание» (*inflation*) - ее размер увеличился в 10^{50} раз, и все неоднородности и искривления разгладились. Вот почему мы живем в таком однородном и геометрически плоском мире.

По инфляционной теории, средняя плотность вещества Вселенной должна быть в точности равна критической. Относительно последней и рассчитаны все проценты, которые упоминались в этой статье. Но даже если поскрести по всем суекам, вещества в космосе набирается только на 27% критической плотности. Где взять оставшиеся 73%?

В пространстве не осталось вещества, но осталось само пространство. Почему мы думаем, что оно ничего не весит? В геодезии все высоты отсчитываются от нулевого уровня (в России - от нуля) ▶



Техник обсерватории Джузеппе Дипьетро держит в руках один из фотоумножителей

Мирозданием правят две великие силы - притяжения и отталкивания



Группе британских ученых под руководством Джорджа Эфстатуи удалось проверить гипотезы о составе Вселенной, выведенные по наблюдениям реликтового фона

► кронштадтского футштока), в физике можно отсчитывать все энергии от энергии вакуума (которая вовсе не обязана быть равной нулю). Может быть, недостающая плотность скрыта в изначальной темной энергии?

Ускорение вселенной

А вдруг все эти разговоры о темной энергии высосаны из пальца, и теория Большого Взрыва неверна? А ученые, вместо того чтобы честно признаться в провале, приписывают энергию пустоте... Ответить на этот вопрос можно лишь одним способом: необходимо выяснить, какими свойствами должна обладать темная энергия, и обнаружить их в ходе астрономических наблюдений. И такие результаты уже получены!

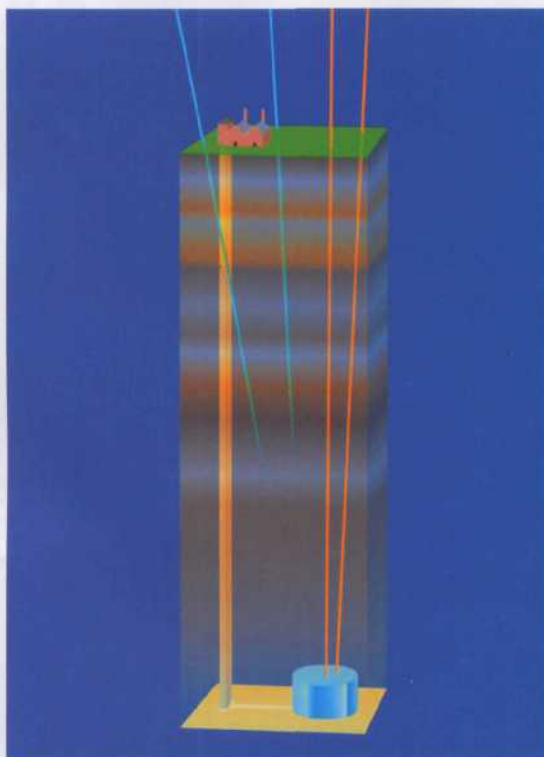
В 1998 году американские астрономы под руководством Адама Риса сообщили: Вселенная не просто расширяется, она расширяется с ускорением. Об этом поведали взрывы сверхновых в далеких галактиках.

Обычно расстояния в астрономии измеряют, сравнивая видимую яркость объекта с его истинным блеском. Источники с известной истинной яркостью называют «стандартными свечами». Это, например, сверхновые типа Ia. Полагают, что они связаны с термоядерными взрывами на белых карликах и отличаются завидным постоянством блеска - очень удобно для измерения космических расстояний. С другой стороны, в окрестностях нашей Галактики действует закон Хаббла: расстояние до галактики прямо пропорционально скоро-

ста ее движения. Скорость определяют по спектру: если источник удаляется от нас, эффект Доплера сдвигает линии в красную часть спектра, если приближается - в синюю. Так оценивают расстояние до далеких объектов (если, конечно, вдали от Млечного Пути расширение Вселенной подчиняется тем же законам). Таким же образом выявляют отклонения от этих закономерностей.

Рис и его коллеги определили расстояние до некоторых сверхновых. Оно оказалось равно нескольким млрд световых лет. Потом вычислили скорость, с которой удалялись бы от нас эти сверхновые, если бы Вселенная миллиарды лет назад расширялась с той же скоростью, что и сейчас. Реальная скорость сверхновых оказалась существенно ниже. Значит, сейчас Вселенная расширяется быстрее? Но в мире, которым правит закон всемирного тяготения, расширение со временем должно замедляться. В результатах группы Риса даже сами авторы открытия искали ошибку. Пока эти попытки успехом не увенчались.

Если ускорение - это реальность, значит во Вселенной действует и сила отталкивания - антигравитация. И на сверхдалних расстояниях она явно превосходит гравитацию. Приходится признать, что темная энергия действительно существует! Тем более что ее количество, вычисленное по наблюдениям сверхновых, совпало с прежними оценками - порядка 70%. В феврале 2002 года астрономы из Великобритании - Джордж Эфстатуи и его коллеги - скомбинировали данные о реликтовом излучении с расстояниями до 250 тыс. галактик, которые были определены на Англо-Ав-



На схеме слева: соляная шахта Боулби в Англии станет первым в мире детектором, предназначенным исключительно для поисков темной материи, точнее - частиц-вимпов. На снимке справа: техники устанавливают на глубине 1100 м детектор - трубку, в которой скрыт 6 килограммовый кристалл йодида натрия. Фотоумножители на концах трубки будут фиксировать вспышки света, возникающие при столкновениях вимпов с кристаллической решеткой детектора



Диапазон современной космологии - от макромира до микромира



Израильянин Мордехай Мильгром - главный противник теории темной материи. Предложенная им модифицированная ньютоновская динамика позволяет объяснить странное движение звезд в галактиках и галактик в скоплениях без гипотезы о скрытой массе

► австралийском телескопе. И в этой работе было невозможно обойтись без темной энергии. Англичане оценили ее вклад в полную плотность Вселенной - 65-85%.

Темна вода во облацех...

Космология давно уже перестала быть чистой наукой. В основе наших представлений о строении и эволюции Вселенной лежат наблюдения и экспериментальные данные. Говорят, официальная наука всегда нетерпима к новым идеям и отвергает все, что не вписывается в уже сложившуюся систему знаний. Однако история космологии - прямое опровержение этого тезиса. В ее рамках спокойно обсуждаются такие странные гипотезы, как переменность скорости света. Космологи поднимали руку даже на святая святых - на закон сохранения энергии! И хотя одни «безумные» гипотезы справедливо канули в лету, другие обрастают доказательствами и новыми сторонниками.

Не появились ли через десяток лет новая концепция, в которую впишутся и странности движения галактик, и свойства реликтового излучения? Пока более или менее реальная альтернатива имеется только у гипотезы о темной материи. Это МОНД - Модифицированная ньютоновская дина-

мика, разработанная в 1980-х годах израильским физиком Мордехаем Мильгромом. Согласно этой теории, закон всемирного тяготения действует лишь при определенных условиях. Если ускорение тела, вызываемое гравитацией, меньше 10^{-10} м/с², в закон всемирного тяготения нужно вносить поправку, которая объяснит странное движение звезд на окраинах спиральных галактик.

Темная материя и темная энергия поначалу были лишь гипотезами, примиряющими теорию с наблюдениями. Но они хорошо вписываются в современную картину мира. С их помощью ученые связали между собой два полюса физики - макро- и микромир, космологию и физику элементарных частиц. Экспериментальное же обнаружение невидимых материи и энергии остается делом будущего. Пока этого не произошло, будем готовы к любым неожиданным поворотам.

*Дмитрий Вубе,
Института астрономии РАН*

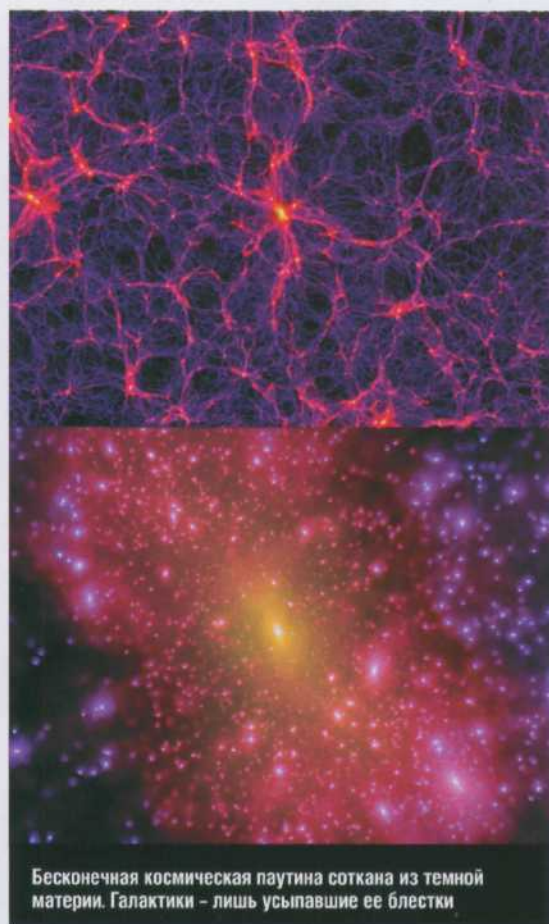
GEOСОВЕТУЕТ

А. Черепашук, А. Чернин. Вселенная, жизнь, черные дыры. М., 2004

Сайт Института ядерных исследований, которому принадлежат Баксанская и Байкальская нейтринные обсерватории: www.inr.ac.ru



Прорыв в определении параметров расширения Вселенной, возможно, произойдет после запуска космического телескопа Уэбба (намечен на 2013 год). Одна из его основных задач - это наблюдение очень далеких сверхновых



Бесконечная космическая паутина соткана из темной материи. Галактики - лишь усыпавшие ее блески