

ISSN 0044-3948

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

СЕНТЯБРЬ–ОКТЯБРЬ 5/2012



Гамма-астрономия и темная материя

А.М. ГАЛЬПЕР,
доктор физико-математических наук
Национальный исследовательский ядерный университет
“МИФИ”,
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Гамма-излучение – наиболее высоко-энергетическая часть космического электромагнитного излучения. До настоящего времени целью наблюдений в этом энергетическом диапазоне было исследование физических процессов генерации и распространения ча-



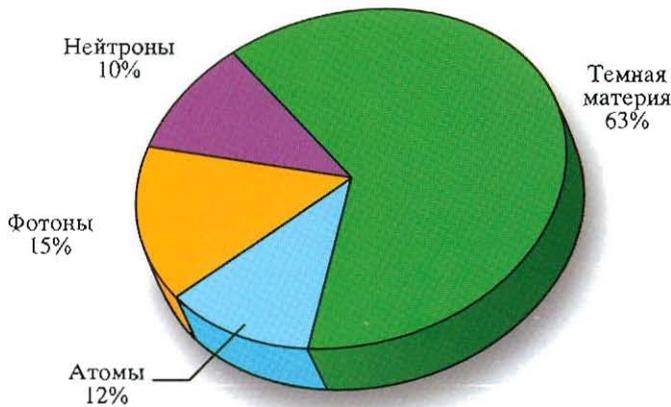
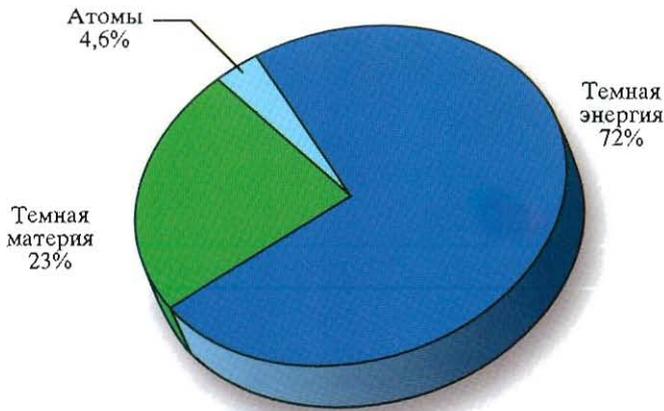
стиц высоких энергий в космическом пространстве. Сегодня к этим научным задачам добавилось еще одно важное направление: исследование природы темной материи. Гамма-астрономия позволит сделать существенный вклад в решение проблемы темной материи.

ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ
ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

В 1930-х гг. выдающиеся астрономы Я. Оорт, Ф. Цвикки и Э. Хаббл, наблюдая скопления галактик, обратили внимание на необычно высокие скорости вращения периферийных галактик вокруг центра скопления. Объяснением этому могла служить невидимая в оптическом диапазоне, рассеянная по всему

скоплению и концентрирующаяся к центру дополнительная материя. Тем самым увеличивается масса скопления, и гравитационные силы притяжения удерживают периферийные быстро-вращающиеся галактики. Скрытая часть вещества Метагалактики получила название темной или даже черной материи (Земля и Вселенная, 2006, № 1).

С тех пор с развитием внеатмосферной астрономии наблюдались и другие проявления темной материи. Например, эффект линзирования (отклонение луча света на невидимом объекте) позволил обнаружить темную материю во многих внегалактических объектах, в том числе и в нашей Галактике. Предполагалось, что темная материя состоит из нейтрино (наилегчайшие



Диаграммы распределения материи (энергетический баланс) в Метагалактике в настоящее время (вверху) и через 380 тыс. лет после начала горячей стадии эволюции Метагалактики (внизу). На ранней стадии эволюции Метагалактики (13,7 млрд лет назад) преобладание темной материи было еще больше.

нейтральные слабодействующие частицы) или каких-то других частиц, но до сих пор ее природа осталась неизвестной.

Особый интерес к проблеме природы темной

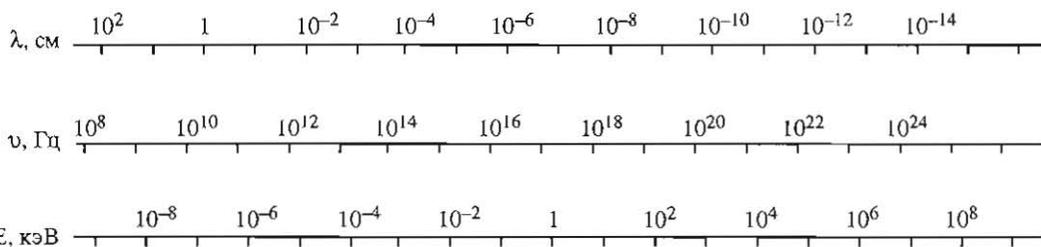
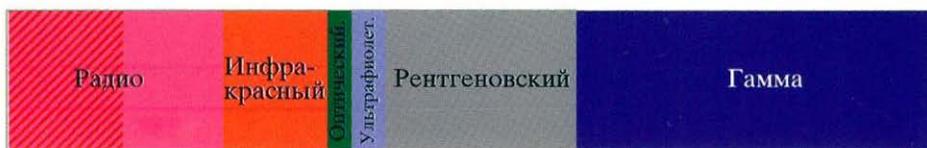
материи возник после детальных исследований пространственного и температурного распределения космического микроволнового (реликтового) излучения, заполняющего Метагалактику.

В 2001–2003 гг. изучением реликтового излучения, образовавшегося на последних этапах горячей стадии эволюции Метагалактики в момент зарождения Вселенной, занималась американская космическая обсерватория “WMAP” (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe – микроволновое исследование анизотропии), названная в честь руководителя проекта Д. Уилкинсона. Собранная “WMAP” информация позволила ученым построить самую детальную на сегодняшний день карту флуктуации температуры распределения микроволнового излучения на небесной сфере (Земля и Вселенная, 2004, № 3, с. 110). Исследование поляризации реликтового излучения с более высоким разрешением, чем “WMAP”, выполнила в 2010–2011 гг. европейская космическая обсерватория “Планк” (Земля и Вселенная, 2009, № 5, с. 43–45; 2010, № 6, с. 111).

На рубеже XX–XXI вв. стало ясно, что усредненная плотность темной материи в Метагалактике в несколько раз превышает плотность обычной (барионной) материи, из которой состоят известные нам небесные объекты. В энергетическом балансе всей нашей Метагалактики около 72% составляет темная энергия, за темной материей остается 23% и на

Миллиметровый
 Радиоастрон "Спектр-М" "Спектр-УФ"
 "Спектр-Р" "Спектр-РГ"

"ГАММА-400"



Шкала электромагнитного излучения и диапазоны измерений существующих российских космических программ.

обычную барионную материю приходится около 5%. Сегодня природа темной энергии, проявляющейся в ускоренном расширении Метагалактики, и темной материи – две наиболее серьезные проблемы космологии, астрономии, физики элементарных частиц, физики космических лучей (Земля и Вселенная, 2006, № 1). Астрофизические исследования продолжают российские космические обсерватории, предназначенные для

работы во всем электромагнитном спектре от радио- до гамма-диапазона.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Что же такое темная материя? Ученые многих стран мира, теоретики и экспериментаторы, занимаются разгадкой природы темной материи. Уже выдвинуты различные гипотезы и около десятка теоретических моделей. При этом большинство специалистов предполагают, что темная материя состоит из тяжелых частиц, возникших на ранней стадии развития нашей Вселенной. Сегодня это остывшая ("холодная") темная материя, ее частицы должны обладать, по крайней

мере, следующими свойствами:

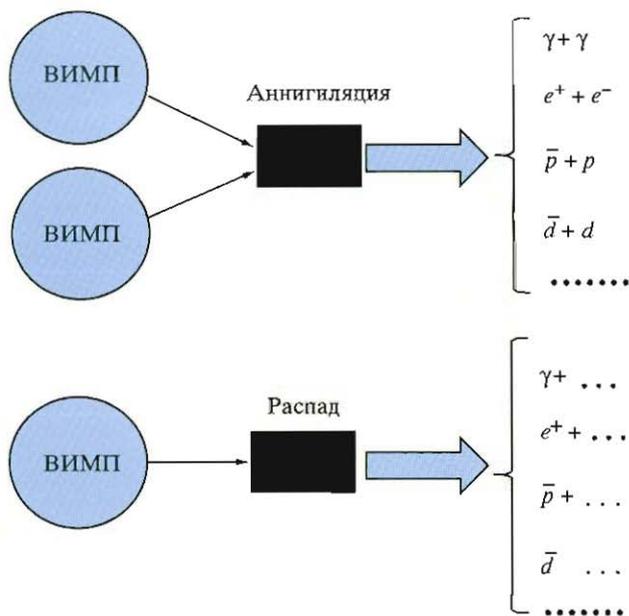
- гравитационным взаимодействием, возможно слабым, при этом другие взаимодействия отсутствуют;

- стабильностью или периодом естественного распада более возраста нашей Метагалактики;

- возможно, большой массой, в десятки и даже тысячи раз больше массы нуклона.

Частица с такими свойствами получила название "вимп" (аббревиатура, составленная из первых букв слов weakly interacting massive particle – слабо взаимодействующая массивная частица).

Среди моделей есть такие, где частицы темной материи имеют элек-



Схемы самоаннигиляции и распада частиц темной материи с образованием известных частиц. Темными прямоугольниками отмечены промежуточные физические процессы аннигиляции и распада, которые различаются для указанных частиц.

трический заряд, или такие, где масса частицы много меньше электрона (в частности, аксионы). Существуют модели, в которых темная материя – это обычное вещество, но совершенно холодное и потому не излучающее ни в одном из диапазонов электромагнитного излучения. В моделях часто используется понятие горячей темной материи, то есть частиц, имеющих субрелятивистскую скорость.

Более подробно остановимся на наиболее разработанных, на наш взгляд, теоретических моделях суперсимметрии и многомерного пространства, в которых имеются частицы, претендующие на роль вимпов.

Модель суперсимметрии связывает фермионы (частицы с полуцелым спином) и бозоны (частицы с целым спином) таким образом, что у каждого фермиона появляется суперпартнер бозон, обладающий такими же квантовыми числами, за исключением спина, а у каждого бозона – суперпартнер фермион, при этом взаимодействия между частицами или между их соответствующими суперпартнерами приводят к одинаковым результатам. Такое симметричное состояние среды могло существовать на ранней стадии развития Метагалактики, когда температура, как предполагается, достигала примерно 10^{29} К, что со-

ответствует взаимодействию частиц с энергией 10^{15} ГэВ. В этих условиях, как следует из теоретической модели, могли рождаться новые частицы, в том числе и суперсимметричные частицы с массой на несколько порядков больше масс нуклонов. Кроме того, они могли быть нейтральными и стабильными, а если распадались, то со временем полураспада, много большим времени жизни Метагалактики. Такие частицы получили название нейтралино (χ). Важным свойством нейтралино является то, что при столкновении друг с другом они могут аннигилировать (самоаннигилировать). Гипотетические нейтралино – блестящий кандидат на роль вимпа! Осталось их только обнаружить.

Модель многомерного пространства также предсказывает частицы, которые могут претендовать на роль ча-

стиц темной материи. Известно, что наше физическое пространство четырехмерно: три пространственные координаты и четвертая временная. Предположим, что число пространственных координат не три, а пять или еще больше. Это, на первый взгляд, непривычное, но простое предположение приводит к интересным последствиям: дополнительные координаты создают условия для появления новых частиц. Впервые описание взаимодействия частиц в рамках многомерной модели предложили математик Теодор Калуца и физик Феликс Клейн в 20-х годах прошлого века. Впоследствии в рамках таких моделей предсказано существование тяжелых частиц с ненулевой энергией (массой) в дополнительном измерении, или, как сегодня говорят, имеющих возбужденное состояние в дополнительном измерении. Примером такой частицы – кандидата на роль скрытой массы – является В-бозон Калуца – Клейна (V_{kk}) с массой, аналогичной нейтралينو. Они также могли рождаться в ранней Метагалактике, когда температура среды была достаточно велика для образования частиц такой массы. Они могут самоаннигилировать и распадаться.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА ЧАСТИЦ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Главный вывод, следующий из рассмотренных моделей: в результате аннигиляции и распада V_{kk} и χ на заключительном этапе появляются обычные частицы. Поскольку эти процессы происходят в космическом пространстве, в потоках космического излучения могут присутствовать частицы от аннигиляции и распада, то есть “следы” темной материи. Возможны прямые и косвенные методы регистрации этих частиц.

Прямые методы

1. **Непосредственная регистрация акта упругого взаимодействия частиц темной материи с ядром обычного вещества.** При упругом взаимодействии частица темной материи (например, нейтралино) передает часть своей энергии ядру, с которым сталкивается. Зная энергию ядра отдачи и предположительную скорость частицы темной материи, можно определить ее массу. В нескольких странах работает около двадцати подземных установок, применяющих различные вещества и использующих различные методы регистрации энергии ядра отдачи, на которых предполагается зарегистрировать акт рассеяния. Вероятность упругого рассеяния ча-

стиц темной материи на обычном веществе крайне мала, и результаты измерений далеко неоднозначны. Имеются лишь указания на массу вимпа, равную 5–25 массам протонов. Существование частиц такой массы практически не противоречит теоретическим моделям, однако тогда они должны были бы рождаться в экспериментах на существующих ускорителях.

II. Частицы темной материи могут рождаться при взаимодействии ускоренных частиц с мишенью. В этом случае измеряются массы и энергии всех известных частиц, рожденных во взаимодействии, и сравниваются с расчетной полной энергией, которая должна была выделяться в этом взаимодействии. Это **метод поиска недостающей массы** (или энергии). Даже на Большом адронном коллайдере (БАК; Земля и Вселенная, 2010, № 3, с. 37), где выделенная во взаимодействии энергия может достигать 7 ТэВ, не обнаружено рождение частиц темной материи вплоть до массы около 150 ГэВ. Возможно, масса вимпа больше, но тогда нужна большая энергия пучка ускоренных частиц. Можно надеяться, что при выходе Большого адронного коллайдера на расчетный уровень ускорения можно ожидать рождения

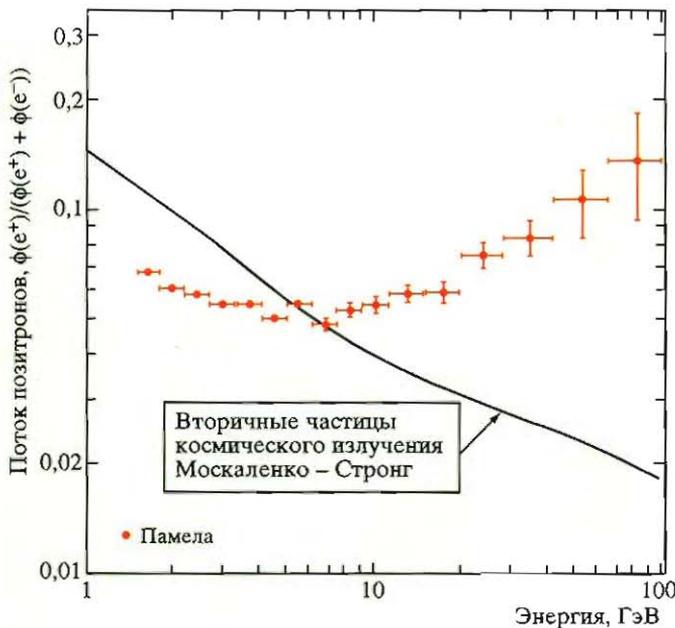


Диаграмма отношения потока позитронов к полному потоку электронов и позитронов. Отличие экспериментальных данных от теоретических расчетов при малых энергиях объясняется солнечной модуляцией потоков первичного космического излучения, при высоких энергиях – более детальным рассмотрением процессов ускорения частиц в астрофизических объектах, например пульсарах, или процессами самонанигиляции и распада частиц темной материи.

частиц темной материи большей массы.

Косвенные методы сводятся к попыткам обнаружить продукты аннигиляции или распада частиц темной материи в потоках заряженного и нейтрального космического излучения. Теоретики предлагают, казалось бы, достаточно простой способ поиска если не частиц темной материи, то ее следов в потоках космического излучения, что означает обнаружение особенностей в его энергетических спектрах. Протоны и электроны ускоряются в источниках космических лучей – остатках сверхновых в нашей Галактике. Поток этих первичных частиц велик, и среди них трудно искать

следы остатков частиц темной материи. Другое дело античастицы (позитроны, антипротоны, антинейтроны, ядра антигелия), возникающие в космическом пространстве при взаимодействии первичного космического излучения с межзвездным газом. Их поток существенно меньше потока протонов и электронов, и в нем уже легче обнаружить следы аннигиляции или распада частиц темной материи. Следы темной материи можно поискать также в потоках нейтральных частиц – нейтрино и гамма-квантов.

К настоящему времени наиболее важный результат получен в международном российско-итальянском кос-

мическом эксперименте "РИМ-ПАМЕЛА". На магнитном спектрометре, установленном на ИСЗ "Ресурс-ДК1", с 2006 г. проводятся прецизионные измерения потоков высокоэнергетических заряженных космических лучей (Земля и Вселенная, 2007, № 1, с. 56), в том числе измерение энергетических спектров позитронов и антипротонов вплоть до энергии 200–300 ГэВ.

Результат впечатляющий! Поток позитронов, отнесенный к общему потоку позитронов и электронов, растет с энергией, значительно превышая расчеты этого отношения по существующим моделям генерации, ускорения и распространения косми-

ческих лучей в Галактике. Это означает, что существует неизвестный ранее дополнительный источник позитронов. Среди возможных объяснений дополнительного потока позитронов, кроме более детального рассмотрения процессов ускорения частиц в астрофизических объектах, фигурируют процессы самоаннигиляции и распада частиц темной материи. Это практически первое возможное проявление следов темной материи. Если предположить, что в дополнительном источнике рождаются и электроны, то относительная роль этого источника в потоке космических электронов мала. Такое малое дополнительное количество электронов обнаружено при измерениях на спектрометре "ПАМЕЛА". Однако поток космических антипротонов, также измеренный с помощью прибора "ПАМЕЛА", соответствует классической модели генерации и распространения космических лучей в Галактике.

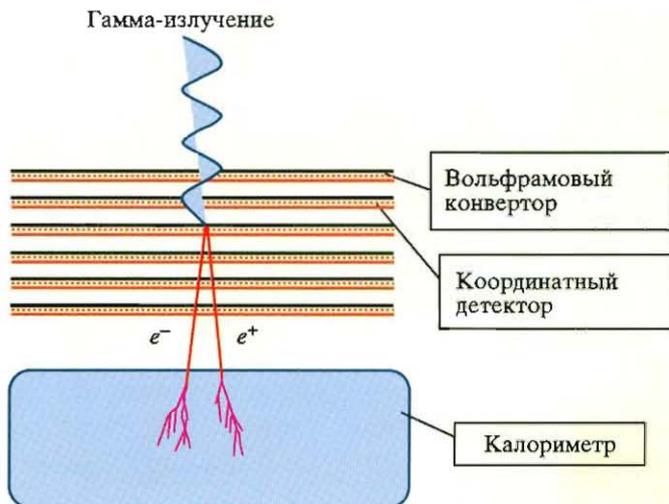
Результат измерений отношения $e^+/(e^+ + e^-)$ по-

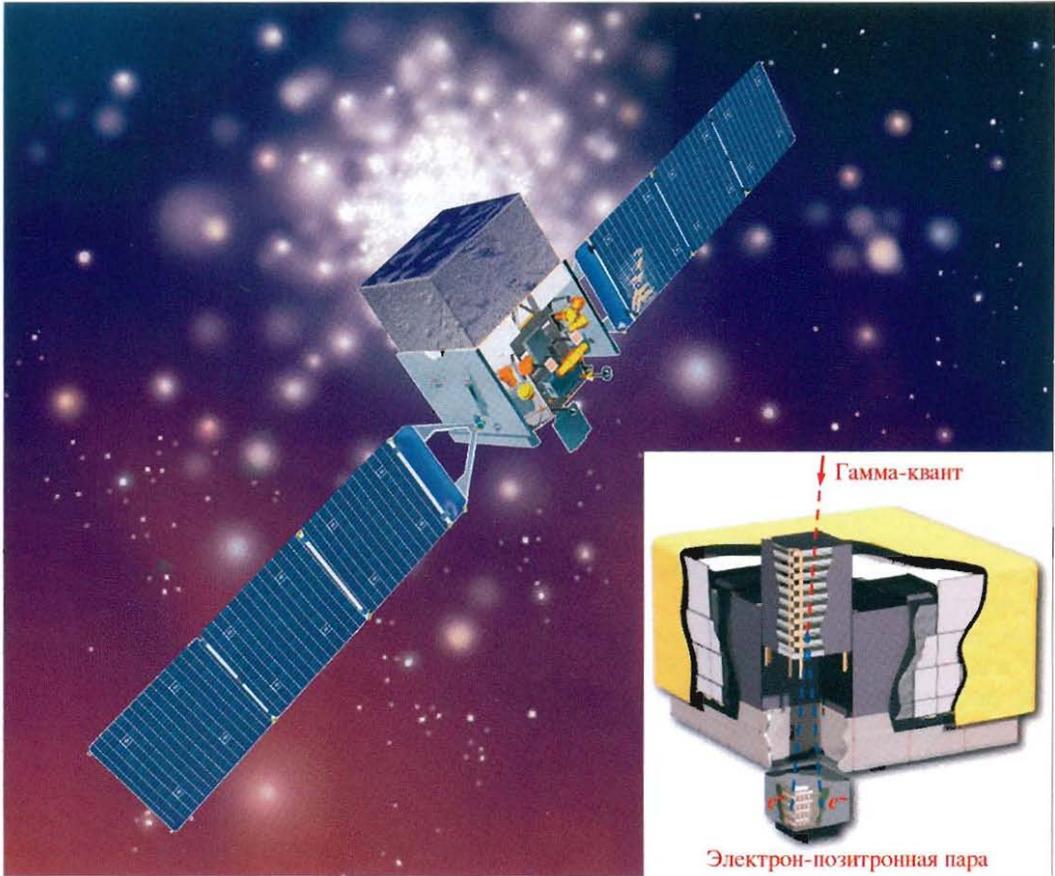
лучил в научной литературе название "аномальный эффект ПАМЕЛА". В результате эксперимента "ПАМЕЛА" стали рассматривать в качестве одного из возможных вариантов регистрации частиц темной материи также и распад частиц темной материи на обыкновенные частицы. Отметим, что Американское физическое общество (APS) включило результат измерения отношения потоков космических позитронов и электронов (эксперимент "ПАМЕЛА"), наряду с запуском Большого адронного коллайдера в Женеве, в число десяти лучших научных результатов 2008 г.

Модель суперсимметрии и многомерного пространства предсказывают также возможность поиска следов аннигиляции и распада частиц темной материи в потоках космического гам-

ма-излучения (Земля и Вселенная, 2007, № 6). В частности, может происходить самоаннигиляция частиц темной материи на два гамма-кванта (модель многомерного пространства) или на гамма-квант и другую частицу (модель суперсимметрии). Продукты этих процессов (гамма-кванты) должны иметь строго определенную энергию. Так, в случае самоаннигиляции на два гамма-кванта каждый из них обладает энергией, равной массе частицы темной материи. В случае самоаннигиляции на гамма-квант и другую частицу гамма-квант также будет иметь определенную энергию, зависящую от массы второй частицы. В любом случае при регистрации гамма-квантов мы имеем дело с "линейчатым" гамма-излучением, которое необходимо выделить на фоне

Схема принципа регистрации высокоэнергичного гамма-излучения в калориметре. По углу разлета электронов и позитронов можно определять направление прилета гамма-кванта и его энергию.





широкого энергетического спектра гамма-квантов от других процессов, происходящих в космосе. В частности, такими могут быть тормозное и синхротронное излучение электронов, обратное комптоновское рассеяние электронов.

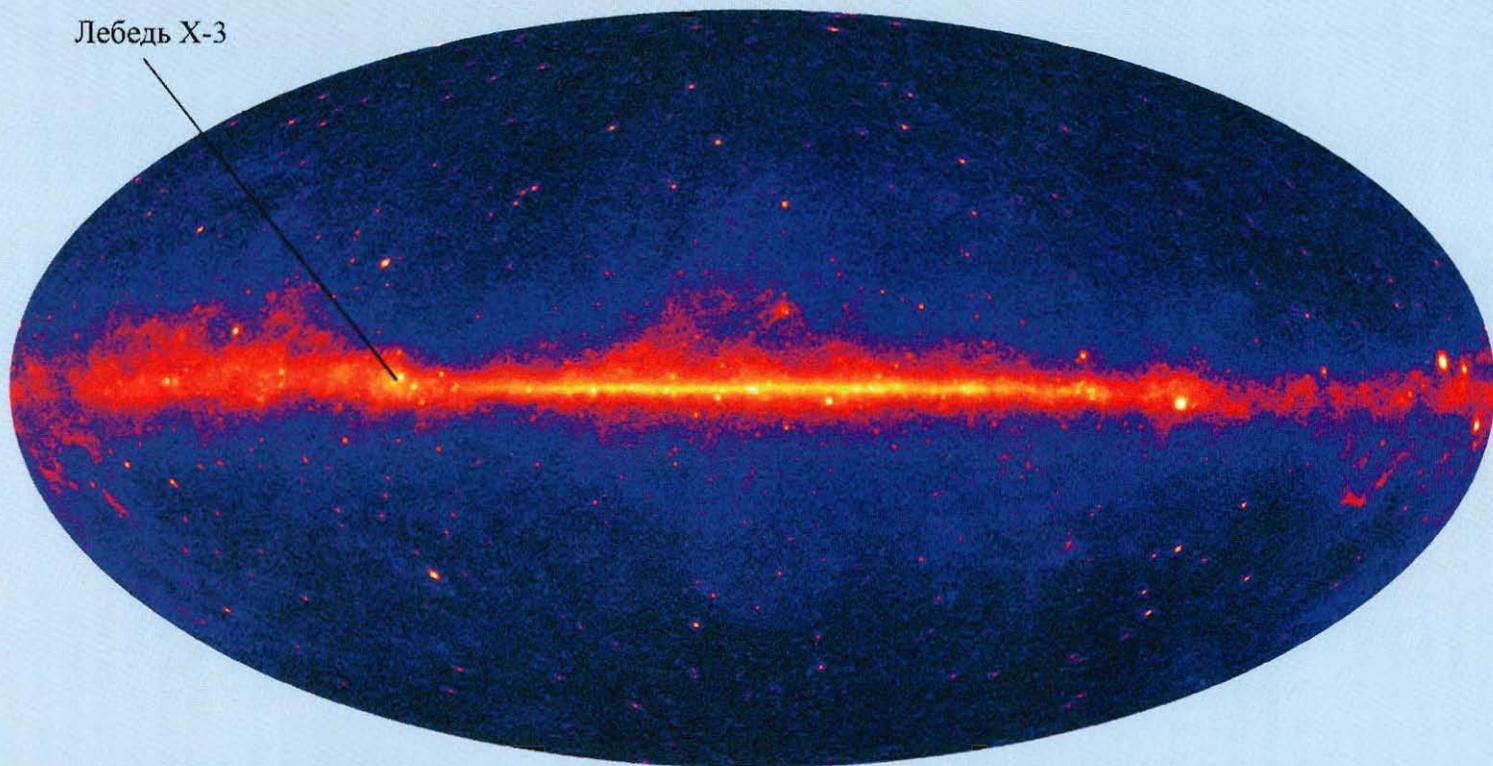
Измерения космического высокоэнергетического гамма-излучения проводились в 1991–2000 гг. на гамма-телескопе “EGRET” (100 МэВ – 30 ГэВ) американской космической обсерватории “Комптон” (“CGRO”). Сегодня измерения осуществляют-

ся с помощью большого гамма-телескопа “LAT” (20 МэВ – 300 ГэВ), установленного на американской космической обсерватории “Ферми” (“GLAST”, запущена в июне 2008 г.; Земля и Вселенная, 2008, № 5, с. 58), и небольшого гамма-телескопа “GRID” (30 МэВ – 50 ГэВ), работающего на итальянской космической обсерватории “AGILE” (запущена в апреле 2007 г.). За прошедшее время открыто около двух тысяч дискретных галактических и внегалактических источников. Зарегистрировано

Американская космическая обсерватория “Ферми” (“GLAST”, запущена в июне 2008 г.) с большим гамма-телескопом “LAT” (во врезке), исследующим астрофизические объекты в диапазоне 20 МэВ – 300 ГэВ. Рисунки NASA.

диффузное и изотропное гамма-излучение (галактическое и внегалактическое). Ни в одном из наблюдений не зарегистрировано “линейчатое” высокоэнергетическое гамма-излучение от дискретных гамма-источников, а также в диф-

Лебедь X-3



Карта неба в гамма-диапазоне 300 МэВ – 100 ГэВ, по данным телескопа "LAT" на космической обсерватории "Ферми". Яркая точка в центре диска Галактики – наиболее вероятный источник гамма-излучения от аннигиляции частиц темной материи. Рисунок NASA.

фузном и изотропном излучении. Однако поток диффузного галактического излучения, зарегистрированный телескопом "EGRET", оказался выше расчетов по классической модели генерации и распространения космических лучей и позволил предположить, что превышение над расчетами — результат вклада процесса самоаннигиляции частиц темной материи в диске или в околосферической области центральной части Галактики. Последующие измерения диффузного излучения на телескопе "LAT" не подтвердили данные "EGRET" потоков гамма-излучения вблизи диска Галактики, но не исключили присутствия сигнала от темной материи в центральной области Галактики.

Гамма-астрономические наблюдения проводятся также наземными установками, регистрирующими космическое гамма-излучение сверхвысокой энергии (~50 ГэВ — 100 ТэВ) по черенковскому излучению электромагнитного каскада, возникающего в верхней атмосфере при конверсии космического гамма-кванта. Гамма-телескопы H.E.S.S. (расположены в Намибии; Земля и Вселенная, 2009, № 2), "MAGIC" (Канарские острова, Испания) и "VERITAS" (Аризона, США) не зарегистрировали "линейчатого" гамма-

излучения от дискретных точечных источников. Изучение диффузного и изотропного гамма-излучения для подобных установок с очень узкой апертурой неэффективно. Энергетическое разрешение, необходимое для того, чтобы в общем энергетическом спектре выделить линию небольшой амплитуды в этих установках, недостаточно.

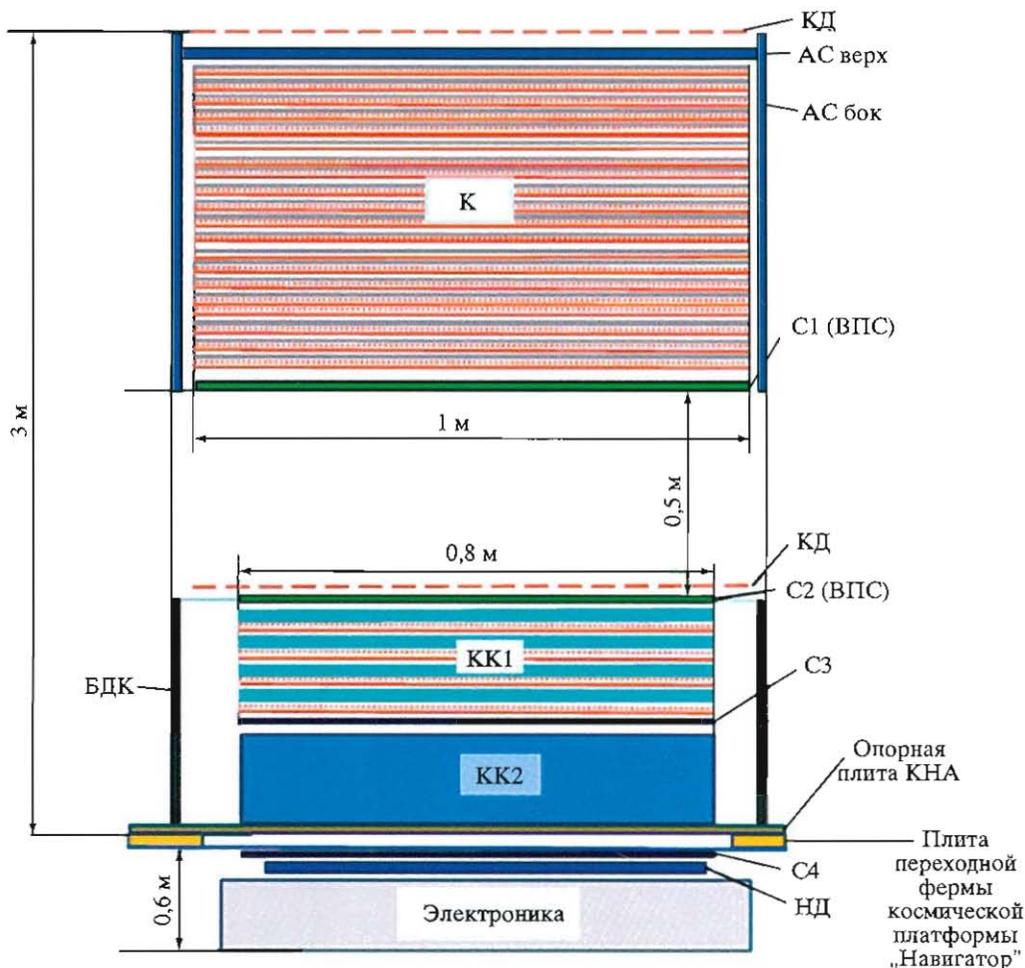
Таким образом, астрономические наблюдения гамма-излучения, проведенные на современных телескопах, не дали определенных результатов по регистрации следов частиц темной материи. Почему и что надо делать?

При ответе на вопрос "почему?" необходимо вспомнить, что последние результаты прямого поиска частиц темной материи на Большом адронном коллайдере установили нижний предел на их массу — 150 ГэВ. Соответственно энергия гамма-квантов от аннигиляции или распада должна быть равна или больше этой энергии. Наземные гамма-телескопы могут регистрировать космические гамма-кванты с энергией более 50 ГэВ, но с энергетическим разрешением всего лишь 15–20%. В свою очередь, современные космические гамма-телескопы имеют низкую эффективность из-за малости самого потока гамма-квантов. Но

самое важное: энергетическое и угловое разрешение современной аппаратуры для регистрации линейчатого гамма-излучения с энергией не более 100 ГэВ недостаточно.

Можно ли преодолеть технические трудности? Можно ли создать гамма-телескоп, измеряющий гамма-кванты с энергией 50–1000 ГэВ, чего требуют теория и результаты измерений на Большом адронном коллайдере? Можно ли улучшить в этом диапазоне угловое и энергетическое разрешение, чего требуют результаты последних измерений космического гамма-излучения?

С этой целью научные коллективы ФИАН (головная организация), НИЯУ МИФИ, ИФВЭ, ФТИ и ИКИ РАН разрабатывают гамма-телескоп следующего поколения — "ГАММА-400". Предложение создать его для поиска в потоках высокоэнергетического галактического (диффузного) гамма-излучения линии от самоаннигиляции частиц темной материи высказали еще в 1990-х гг. академик В.Л. Гинзбург и доктор физико-математических наук Л.В. Курносова. В настоящее время в проект внесен ряд усовершенствований, в том числе регистрация высокоэнергичной электрон-позитронной компоненты.

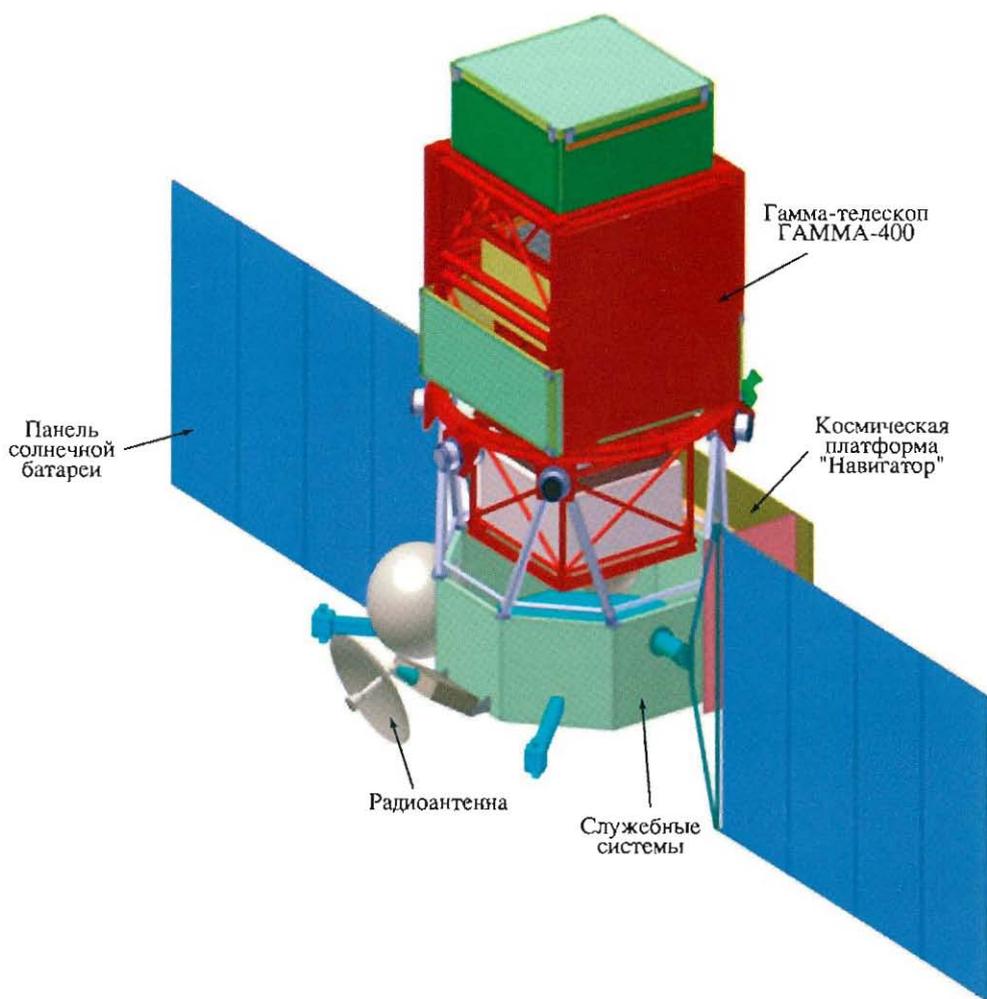


Устройство гамма-телескопа "ГАММА-400": К – многослойный конвертор; АС – антисовпадательный счетчик; ВПС (С1, С2) – времяпролетная система; КД – координатные полупроводниковые детекторы; КК1 и КК2 – координатно-чувствительные калориметры; БДК – боковые детекторы калориметров; НД – нейтронный детектор; С3, С4 – детекторы для отбора высокоэнергичных частиц. Рисунок ФИАН.

"ГАММА-400" – ТЕЛЕСКОП НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Главный элемент системы регистрации высокоэнергетического гамма-излучения по проекту "ГАММА-400" – конвертор, состоящий из тонких слоев вольфрама, в котором невидимый гамма-квант превращается (конвертирует) в электронно-позитронную пару. Между слоями вольфрама размещаются тонкие координатно-чувствительные детекторы,

измеряющие направление движения электрона и позитрона. После выхода из конвертора электрон и позитрон попадают в калориметр, созданный на основе неорганических сцинтилляционных кристаллов (CsI и BGO). В нем электрон и позитрон создают электронно-фотонные ливни. Чем больше энергия электрона и позитрона, тем больше частиц в каждом из ливней. Калориметр измеряет



суммарную энергию ливней. Эта энергия и является энергией гамма-кванта.

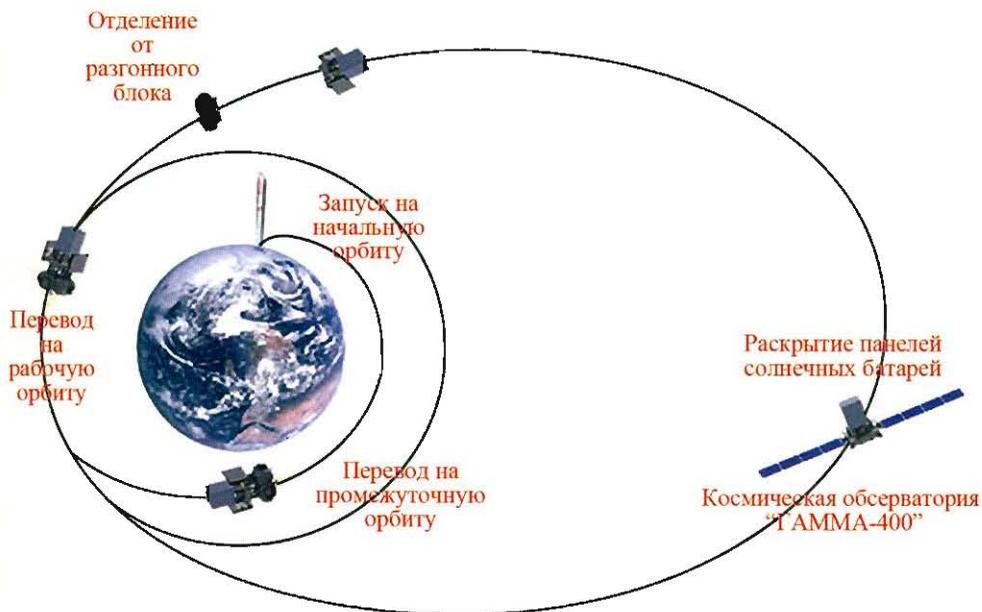
В общем потоке космических лучей доля гамма-квантов не более 0,01%. Основную массу составляют заряженные частицы – протоны, электроны, легкие ядра, которые при прохождении через конвертор могут создавать эффект, схожий с гамма-квантами.

Чтобы исключить подобные события, вызванные заряженными частицами, приходится усложнять реальную схему телескопа рядом систем, фиксирующих прохождение через телескоп заряженных частиц.

Прежде чем построить гамма-телескоп "ГАММА-400", была проведена серия расчетов для оптимизации конструкции, обеспечивающей его ос-

Российский гамма-телескоп "ГАММА-400", который предполагается установить на космическую платформу "Навигатор". Рисунок ФИАН.

новные характеристики: диапазон регистрируемых энергий, точность измерения энергии гамма-квантов и направления их прилета, то есть



положения источника гамма-кванта на небесной сфере. Результаты расчетов показывают, что диапазон энергий составляет от 100 МэВ до 3000 ГэВ, точность измерения энергий – около 1% при энергии 100 ГэВ, а угловое разрешение (точность определения направления прилета гамма-квантов при тех же энергиях) – 0,01°. Точность определения энергии и направления движения гамма-квантов, увеличение границы измерения до 3000 ГэВ – все это в несколько раз лучше, чем у современных космических гамма-телескопов, в том числе “LAT” космической обсерватории “Ферми”.

Безусловно, эти характеристики должны быть подтверждены при наземных испытаниях гамма-телескопа, и в первую очередь на пучке ускоренных частиц на Большом адронном коллайдере.

К концу 2017 г. работы по созданию гамма-телескопа “ГАММА-400” массой 2600 кг и потребляемой мощностью 2000 Вт, его калибровке и тестированию всех систем предполагается завершить. Телескоп “ГАММА-400” установят на космической платформе “Навигатор” Научно-производственного объединения им. С.А. Лавочкина. На 2018–2019 гг. намечен запуск с помощью РН “Протон-М”

Схема вывода на рабочую орбиту российской космической обсерватории с гамма-телескопом “ГАММА-400”. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина.

российской космической гамма-обсерватории на эллиптическую орбиту с перигеем 500 км и апогеем 300 тыс. км. Приблизительно через год после начала полета из-за влияния Луны орбита космической гамма-обсерватории превратится почти в круговую, с радиусом около 150–200 тыс. км. Еще через несколько лет она будет напоминать начальную.

На гамма-телескопе “ГАММА-400” планиру-

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ

Телескоп	Космические гамма-телескопы				Наземные гамма-телескопы		
	EGRET	AGILE	LAT	ГАММА-400	HESS-II	MAGIC-II	VERITAS
Страна	США	Италия	США	Россия	Намибия	Канарские острова, Испания	Аризона, США
Диапазон энергий, ГэВ	0,03–30	0,03–50	0,1–100	0,1–3000	>50	>50	>100
Угловое разрешение, градус ($E_\gamma > 100$ ГэВ)	0,5 ($E_\gamma \sim 0,5$ ГэВ)	0,1 ($E_\gamma \sim 1$ ГэВ)	0,1	$\sim 0,01$	0,1	0,1	0,1
Энергетическое разрешение, % ($E_\gamma > 100$ ГэВ)	20 ($E_\gamma \sim 0,5$ ГэВ)	50 ($E_\gamma \sim 1$ ГэВ)	10	~ 1	15	15	15

ется осуществить широкую программу астрофизических наблюдений. Среди основных целей – центр нашей Галактики, где, возможно, расположена черная дыра, а также область вокруг центра, в которой, по-видимому, сосредоточена основная масса частиц темной материи. Объектами наблюдений являются также микрокваза-

ры в нашей Галактике, например система Лебедь X3 (открыта в гамма-диапазоне российскими учеными еще в 1972 г.), остатки сверхновых, например Крабовидная туманность, молекулярные облака, другие галактики с активными ядрами. Каждый день предполагается получать около 100 Гбайт научной информации.

Дожидаются внимания и несколько сотен гамма-источников, пока не отождествленных ни с одним из известных астрономических объектов. Участники проекта уверены, что в энергетическом диапазоне от 1 до 3×10^3 ГэВ будет зарегистрировано линейчатое гамма-излучение от самоаннигиляции или от распада частиц темной материи в центральной области Галактики и вне нее. Также будет измерен спектр галактической электронно-позитронной компоненты и изучены его особенно-

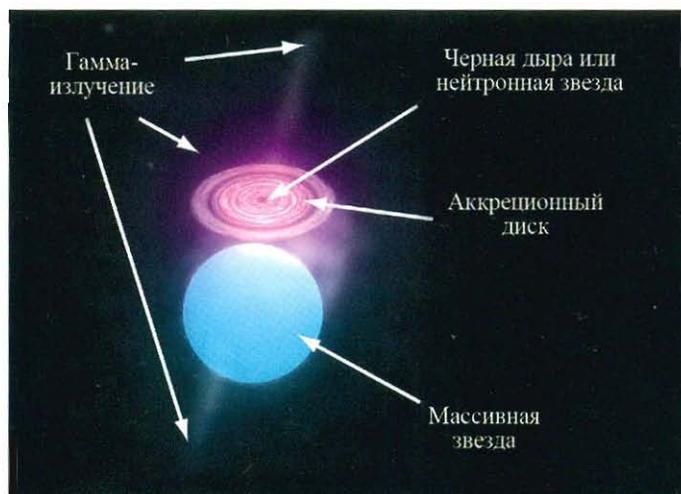


Схема микроквара Лебедь X3 – одного из источников высокоэнергичного гамма-излучения (реконструкция по данным "Ферми"). Рисунок NASA (адаптирован).

сти, которые могут быть связаны с темной материей.

Во время подготовки статьи появилось сообщение (Ch. Weniger, arXiv.org/abs/1204.2797) о наблюдении гамма-линии с энергией 129,8 ГэВ от

центра нашей Галактики. Это результат обработки X. Венигером опубликованного в научной печати второго каталога данных, полученных с помощью телескопа "LAT" космической обсерватории "Ферми". Дискуссия,

развернувшаяся вокруг линии 129,8 ГэВ, еще раз подчеркивает важность проведения глубокого обзора в гамма-диапазоне, который предполагается провести телескопом "ГАММА-400".

Информация

Темная материя в сверхскоплении Abell 520

Выполненное в 2011 г. исследование столкновения галактик в массивном скоплении Abell 520 в Орионе, расположенном на расстоянии 2,4 млрд св. лет от Земли, поставило перед астрофизиками новые вопросы о природе темной материи.

Распределение темной и обычной материи в скоплении галактик определяют по гравитационному воздействию вещества скопления на свет галактик, находящихся за ним. Ученые установили, что у Abell 520 массивное темное ядро, в котором нет ярких галактик. Частично ядро состоит из очень горячего газа (одна из форм обычного вещества), наблюдаемого по рентгеновскому излуче-

нию, зарегистрированному космической обсерваторией "Чандра". Большая часть центральной части скопления, скорее всего, содержит темную материю. Это было обнаружено в 2007 г., но тогда данные посчитали ненадежными: согласно общепринятым представлениям, темная материя и обычное вещество подвергаются действию одинаковых гравитационных сил и поэтому должны быть одинаково распределены в скоплении. Однако изображение, полученное КТХ в 2008 г. (см. стр. 1 обложки), показывает, что видимые галактики не концентрируются там, где есть темная материя. Возможно, это различие обусловлено особенностями движения больших галактик в обычном гравитационном поле. Одной из причин наблюдаемого в кластере Abell 520 разделения двух видов материй может быть столкновение галактик в центре скопления, в результате которого их отбросило к его краю, а темная материя осталась в центре скопления. Но воспроизвести такой вариант

с помощью компьютерной модели ученым не удалось. Другое объяснение заключается в том, что сверхскопление Abell 520 сформировалось при столкновении не двух, а трех скоплений галактик. Вероятно, темная материя все-таки взаимодействует с обычным веществом или сама с собой не только гравитационно и потому способна "слипаться" при прохождении друг через друга облаков темной материи.

Изучение другого массивного скопления, "Пуля" (1E 0657-56, расположено в 3,4 млрд св. лет от нас), показало, что иногда темная материя следует за галактиками и только горячий газ остается в центральной части. Возможно, это связано с более сложным динамическим процессом, чем в скоплении Abell 520. Чтобы выяснить, как на самом деле темная материя влияет на обычную, необходимы дальнейшие исследования.

Пресс-релиз Института
КТХ, NASA,
2 марта 2012 г.