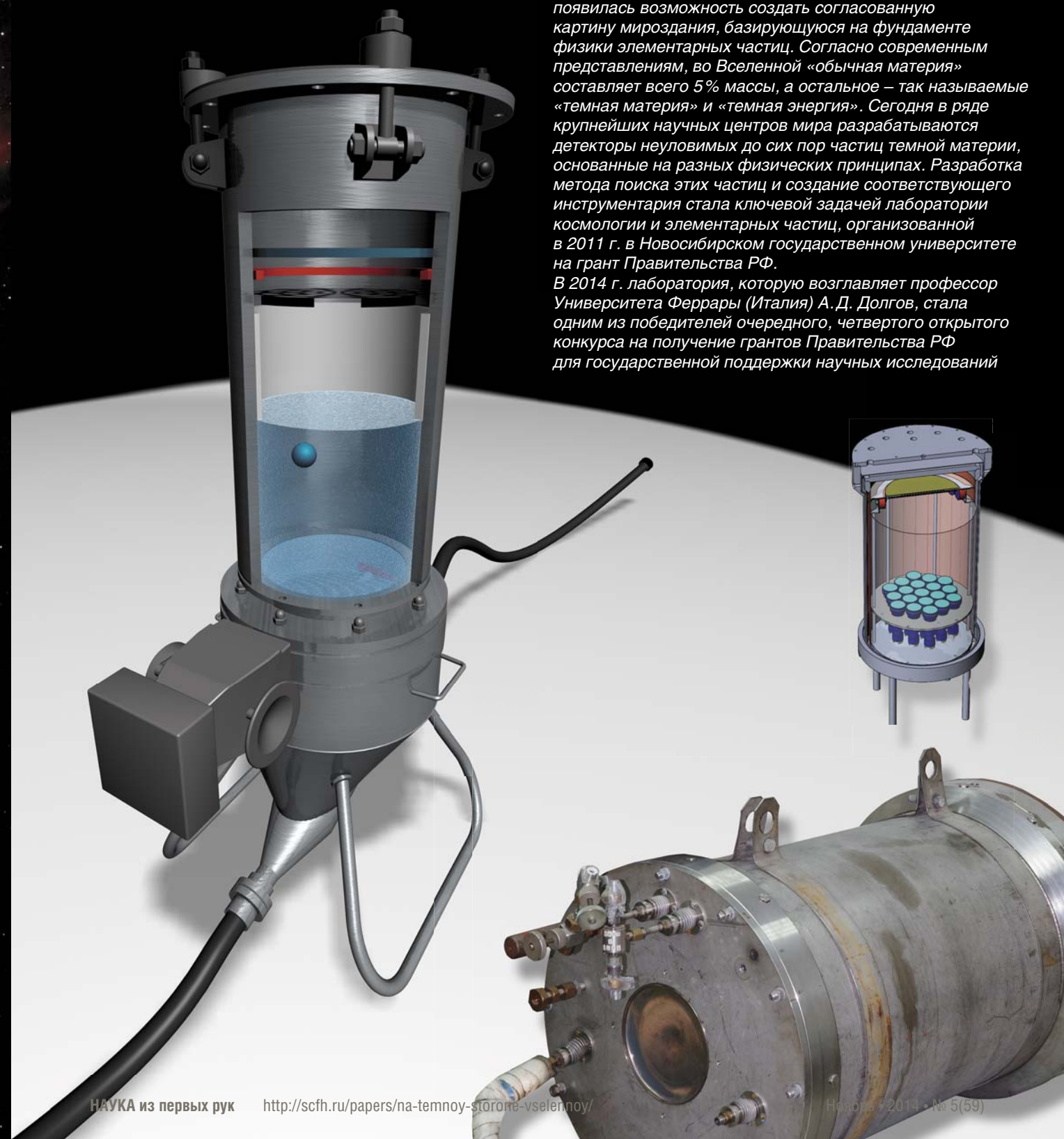


На темной стороне Вселенной

Размах «крыльев» планетарной туманности «Бабочка» (по новому каталогу – NGC 6302) в созвездии Скорпиона охватывает более 3 световых лет; от Земли же ее отделяет около 4 тыс. световых лет. Гибнущая центральная звезда этой необычной туманности очень сильно раскалила (температура ее поверхности оценена в 250 000 °C) и ярко светит в ультрафиолетовом диапазоне. Но от нас она скрыта пылевым кольцом, рассекающим яркую полосу ионизованного газа. Снимок с космического телескопа «Хаббл», 2009 г.
Credit: NASA / ESA / Hubble

Ключевые слова: темная материя, антиматерия, нейтрино, детектирование элементарных частиц, космология, сверхновые IIa, модифицированная гравитация.
Key words: dark matter, antimatter, neutrino, elementary particles detection, cosmology, supernovae IIa, modified gravitation model

Лучшие умы человечества веками бились над вопросом: как устроена наша Вселенная? Наконец, в результате совместных усилий теоретиков и экспериментаторов появилась возможность создать согласованную картину мироздания, базирующуюся на фундаменте физики элементарных частиц. Согласно современным представлениям, во Вселенной «обычная материя» составляет всего 5% массы, а остальное – так называемые «темная материя» и «темная энергия». Сегодня в ряде крупнейших научных центров мира разрабатываются детекторы неуловимых до сих пор частиц темной материи, основанные на разных физических принципах. Разработка метода поиска этих частиц и создание соответствующего инструментария стала ключевой задачей лаборатории космологии и элементарных частиц, организованной в 2011 г. в Новосибирском государственном университете на грант Правительства РФ. В 2014 г. лаборатория, которую возглавляет профессор Университета Феррары (Италия) А. Д. Долгов, стала одним из победителей очередного, четвертого открытого конкурса на получение грантов Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований





ДОЛГОВ Александр Дмитриевич – доктор физико-математических наук, профессор Университета Феррары (Италия), ведущий научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики им. А. И. Алиханова (Москва), заведующий научной лабораторией космологии и элементарных частиц НГУ. Член Международного общества общей теории относительности и гравитации. Лауреат премии им. Б. М. Понтекорво (2009), премии им. А. А. Фридмана (2011). Область научных интересов: космология, астрофизика, физика элементарных частиц

Особенность темной материи заключается в том, что никто не знает, что это такое. Никакие астрофизические и космологические соображения не говорят о природе ее частиц, есть только гипотезы. Задача поиска частиц темной материи состоит прежде всего в том, чтобы создать метод, позволяющий «найти неизвестное». Физики, которые интересуются этой проблемой, ищут во всех возможных направлениях, чтобы охватить как можно больший спектр возможностей

Существует несколько моделей темной материи. То, что мы ищем, – это так называемая *холодная темная материя*, частицы которой, изначально медленные, сейчас разогнались в гравитационном поле галактики до тысячной доли скорости света. Диапазон возможных значений массы этих частиц очень велик: они могут оказаться в тысячи раз тяжелее или в триллионы раз легче протона. Кроме того, согласно одной альтернативной модели, холодной темной материей могут быть маленькие, микронного размера, «черные дырочки», но по весу сравнимые с большим горным массивом. Есть и другие гипотезы, например, «горячей» темной материи: ее частицы, летавшие в ранней Вселенной с околосветовой скоростью, теперь должны были замедлиться примерно до сотой доли скорости света.

Не так давно была отвергнута одна красивая модель темной материи, основанная на представлениях о суперсимметрии, которая предсказывала существование стабильных частиц примерно в 10 тыс. раз массивнее протона.

Большинство ученых ждало обнаружения темной материи именно в таком виде. Однако специальные эксперименты на Большом адронном коллайдере показали, что частиц с такими параметрами, вероятнее всего, в природе не существует. И этот факт пока является единственным значимым результатом на непростом пути поиска «темной стороны» Вселенной.

Аргоновая «ловушка»

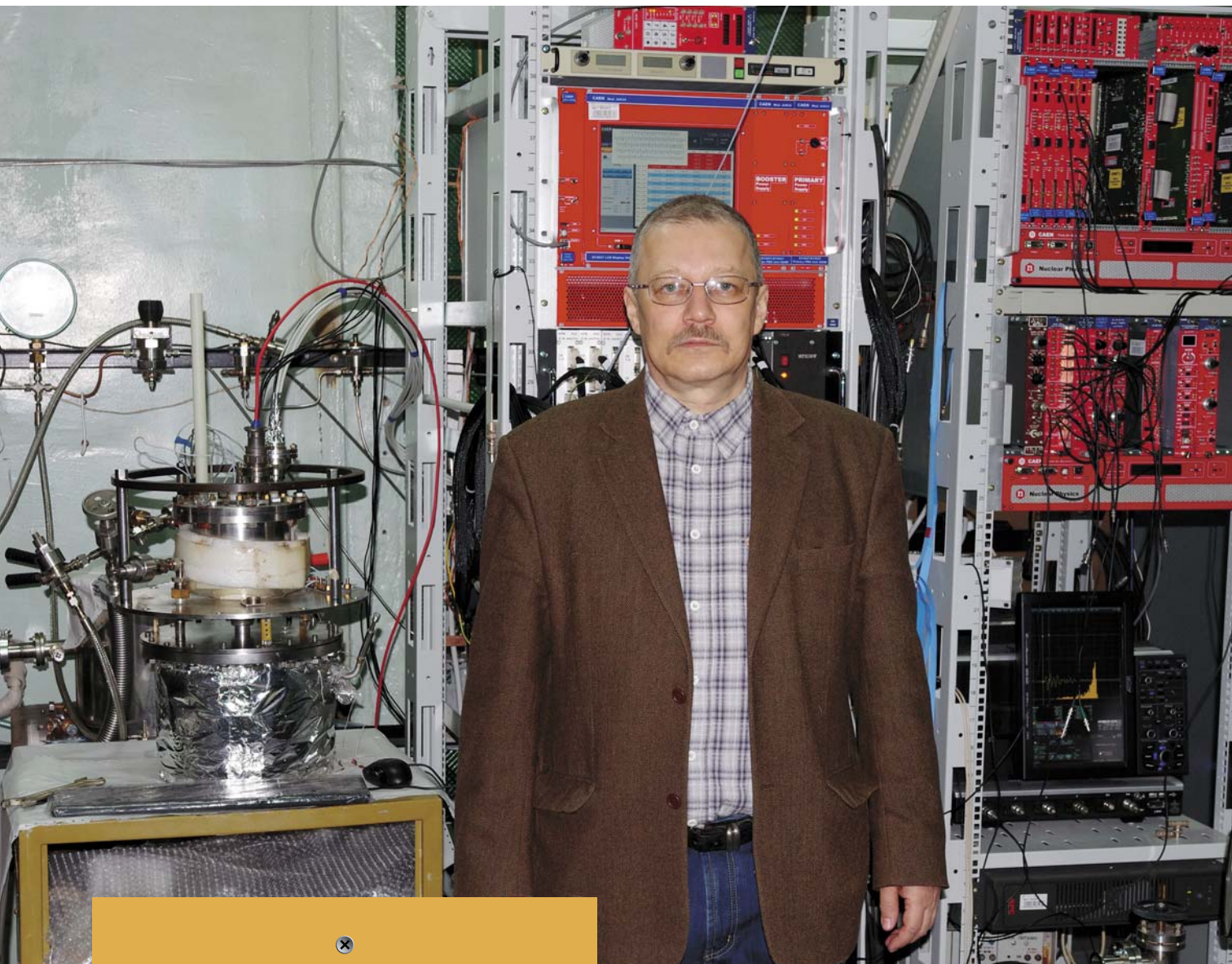
К настоящему времени придуманы детекторы темной материи, базирующиеся на разных физических принципах. Исследователи, основываясь на своих предположениях о свойствах этой материи, используют разные подходы, чтобы сделать детектор более чувствительным и избирательным.

Большинство физиков сегодня полагают, что частицы темной материи должны быть весьма массивными (порядка сотен масс протона), поэтому их лучше регистрировать с помощью тяжелых ядер отдачи. Для поиска таких частиц более всего подходят детекторы, где в качестве рабочего тела используется сжиженный ксенон: в мире уже работает несколько гигантских установок, каждая из которых содержит сотни килограммов этого инертного вещества.

Мы же исходили из другой гипотезы, согласно которой частицы темной

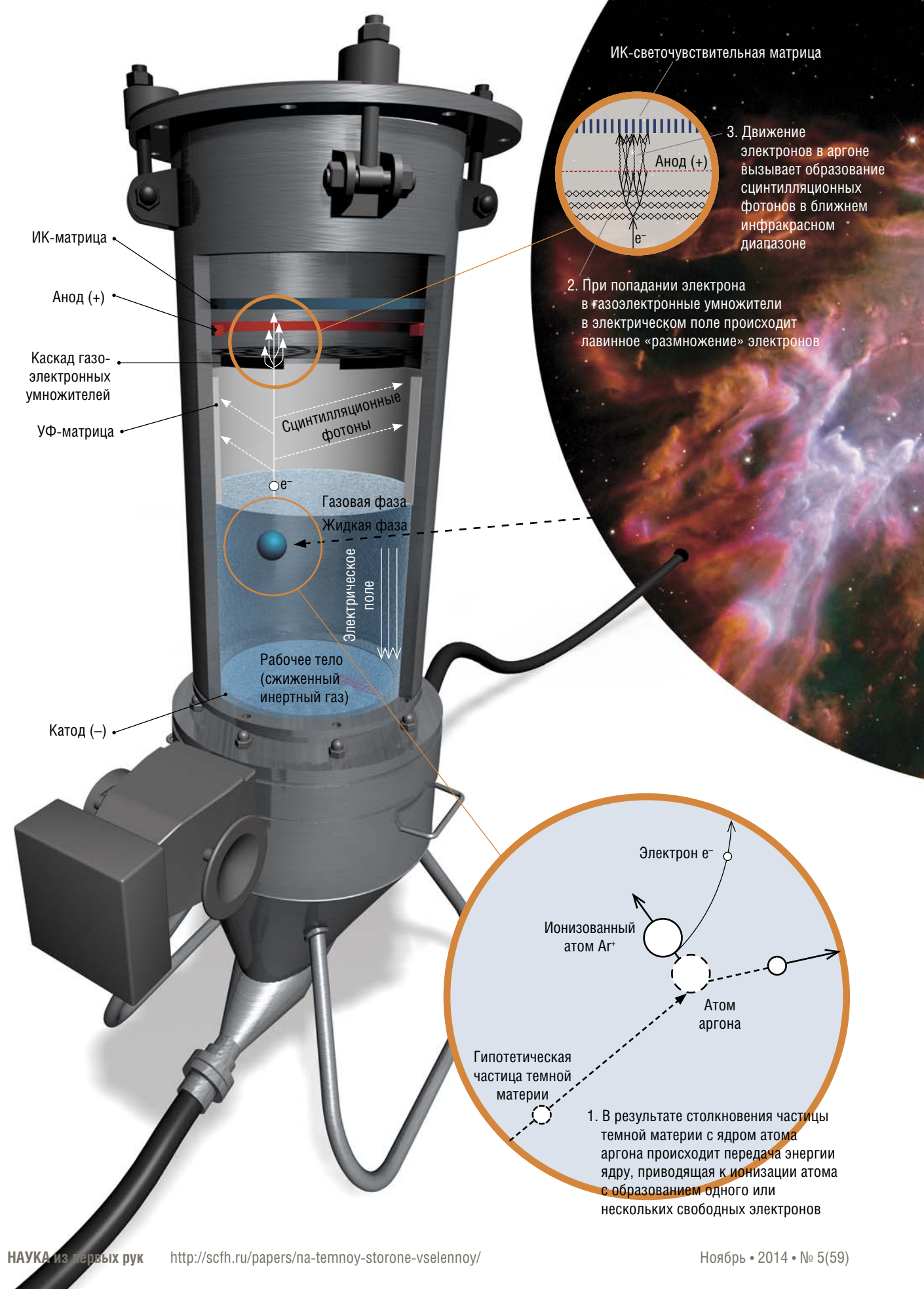
БОНДАРЬ Александр Евгеньевич – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Новосибирск), декан физического факультета и заместитель заведующего лабораторией космологии и элементарных частиц НГУ. Член Комитета научной политики Европейского центра ядерных исследований (CERN, Швейцария – Франция). Область научных интересов: физика элементарных частиц, физика высоких энергий

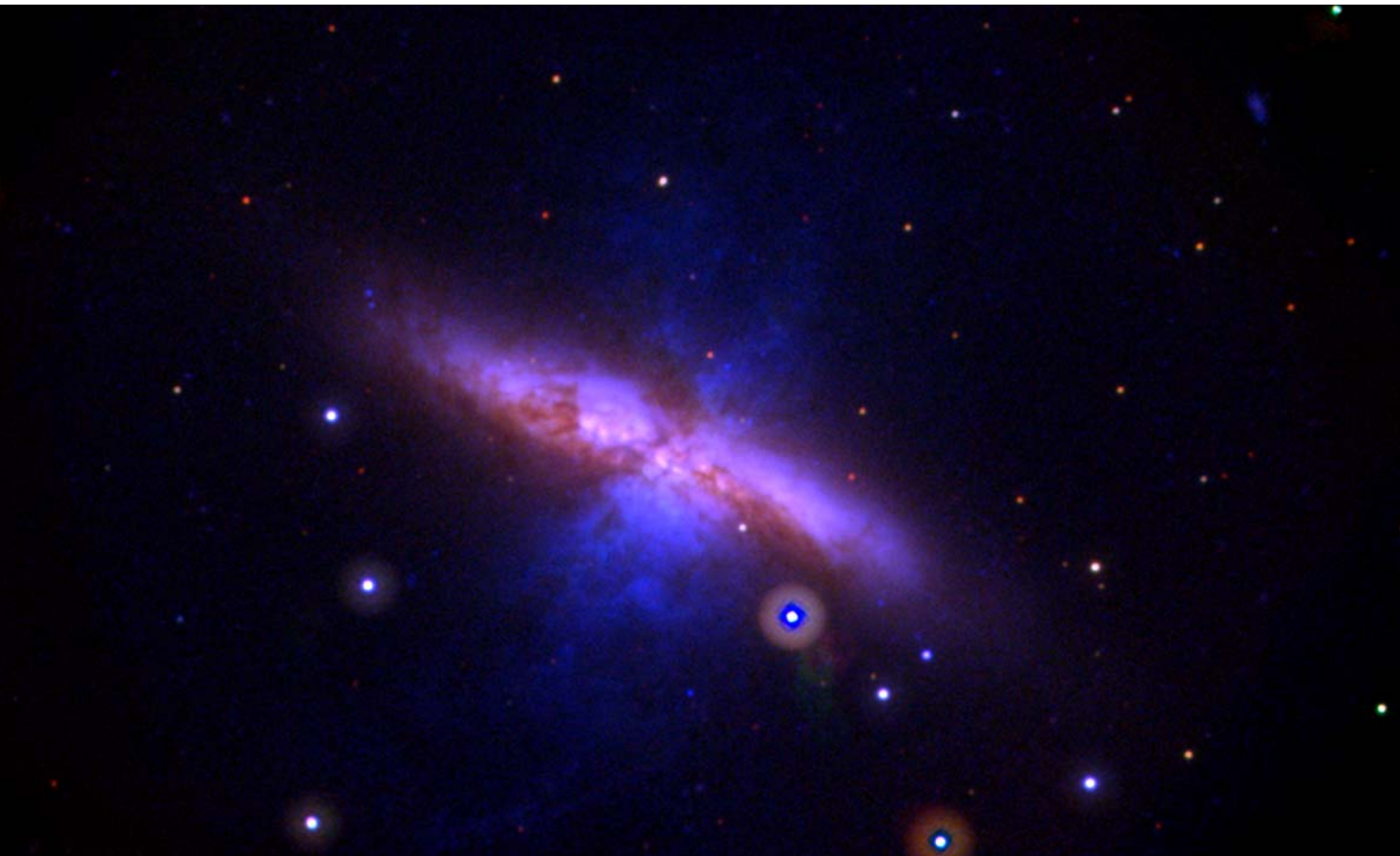




Лидер экспериментальной группы лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ проф. А. Ф. Бузулуцков на фоне действующего малого (с криогенной камерой объемом 9 л) прототипа детектора темной материи в момент сборки и тестирования электроники

Принципиальная схема детектора для обнаружения частиц «холодной» темной материи массой 2—10 масс протона, разработанная в лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ. Основная часть этого прибора – криокамера, в которую залит жидкий аргон. Предполагается, что столкновение частицы темной материи с атомом аргона вызовет ионизацию последнего, т. е. отрыв электрона. Электромагнитное излучение, возникающее при движении свободных электронов в сильном электрическом поле, регистрируется специальными датчиками в широком диапазоне длин волн. Калибровка детектора производится эпитепловыми нейтронами, источник которых создан в Институте ядерной физики СО РАН (Новосибирск)





Так выглядела галактика M82 перед взрывом сверхновой звезды 2014J.

Картина представляет собой коллаж на основе данных, полученных в 2007—2013 гг.

Изображение в ультрафиолетовом диапазоне показано синим (средний поддиапазон) и зеленым (ближний поддиапазон) цветами, в видимом свете – красным. Размер этого объекта – чуть больше половины диаметра полной луны.

Credit: NASA/Swift/P. Brown, TAMU

материи лишь в 2—10 раз массивнее протона. В этом случае использование тяжелых ядер отдачи не очень эффективно – требуются более легкие ядра благородных газов, таких как аргон или, еще лучше, неон. Сейчас предпочтение отдают аргону, как более дешевому и доступному веществу: его использование открывает перспективы создания детекторов большего объема, что повысит шансы обнаружения искомых частиц.

Сначала был сконструирован небольшой прототип (размером с десятилитровое ведро), на котором была

доказана принципиальная возможность создания действующего детектора на жидком аргоне. Затем собрали «бочку» на порядок большего объема для более полного изучения характеристик работы прибора.

Модельные эксперименты проводятся с нейтронами небольшой энергии, которые рассеиваются на ядрах аргона, создавая эффекты, схожие с теми, которые должны возникать при рассеянии частиц темной материи. В этом смысле у нашей лаборатории есть уникальное преимущество, потому что именно в ИЯФ СО РАН был разработан и создан источник монохроматических нейтронов* нужной энергии, с помощью которых можно провести калибровку детектора.

Установка, содержащая сто литров жидкого аргона – это уже довольно серьезное инженерное сооружение. Неудивительно, что на этом этапе работы возникли технические проблемы, которые нужно решить. Одна из проблем большого объема заключается в том, что ядро отдачи успевает остановиться внутри рабочего

* Подробнее в «НАУКЕ из первых рук», № 40, с. 88–95.

НЕЙТРОНЫ В РОЛИ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Прямой поиск частиц темной материи производится в специальных детекторах элементарных частиц по наблюдению событий их предполагаемого упругого рассеяния на атомных ядрах вещества, являющегося рабочим телом детектора. В результате взаимодействия частицы темной материи с рабочей средой в последней должны возникнуть так называемые ядра отдачи с предположительной энергией в диапазоне от нуля до нескольких десятков кэВ с энергетическим спектром, близким к экспоненциальному. В свете последних экспериментальных данных наибольший интерес представляют малые (менее 8 кэВ) энергии ядер отдачи, для регистрации которых необходимы детекторы высокой чувствительности.

В детекторах элементарных частиц на основе благородных газов, находящихся в криокамере в двухфазном состоянии (жидкость–газ), идет взаимодействие частиц с атомами вещества. Образующиеся при этом ядра отдачи генериру-

тела, не дойдя до регистрирующего датчика. Поэтому требуется разработать схему надежной регистрации той очень небольшой энергии, которая выделяется при торможении. Другими словами, мы ищем наиболее оптимальные инженерные решения, чтобы максимально улучшить чувствительность и надежность детектора.

Научный андеграунд

Строго говоря, пока мы находимся в самом начале пути к созданию значительного по объему детектора для поиска темной энергии, хотя бы на триста литров аргона. Кроме того, такую установку требуется размещать в глубокой пещере, чтобы максимально избавиться от фонового космического излучения.

Известно, что все обычные сооружения, построенные из природных материалов, к примеру, из того же бетона, всегда содержат, пусть и небольшие, примеси радиоактивных атомов, которые постепенно распадаются с образованием радона. А радон – это один из самых «вредных» элементов, затрудняющих регистрацию темной материи, потому что этот газ проникает в самые малые пустоты установки и, распадаясь, создает трудно устранимый радиоактивный фон. Поэтому для установки детектора подходит далеко не всякая шахта.

Для производства детектора также нужно использовать низкофоновые материалы, т. е. материалы с низкой радиоактивностью. К счастью, в мире уже научились создавать такие материалы, однако на решение этой и подобных технических задач также требуется время и силы. Кстати, в аргоне, который получают из атмосферного воздуха, содержится (и постоянно во-

ют) сцинтилляционные сигналы, которые регистрируются специальными датчиками. По совокупности этих сигналов выделяется событие, вызвавшее образование ядра отдачи, и определяются свойства частицы, вызвавшей это событие.

Двухфазный криогенный лавинный детектор высокой чувствительности для поиска темной материи, разработанный в лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ, предназначен для регистрации частиц, масса которых в 2—10 раз превышает массу протона. К настоящему времени уже созданы прототип детектора, вмещающий 8 л жидкого аргона, и первая рабочая установка с криокамерой объемом 160 л; проводится калибровка прибора медленными монохроматическими нейтронами с известной энергией

зобновляется из-за воздействия космических частиц) радиоактивный изотоп со средним временем жизни около 300 лет. Однако в качестве источника аргона можно брать не воздух, а природный газ, миллионы лет находившийся под землей, где он не подвергался воздействию космической радиации, поэтому содержание радиоактивного изотопа в таком аргоне на много порядков меньше.

«Земные» приложения

Детектор на жидком аргоне, разработанный для поиска частиц темной материи, может с успехом использоваться и в других областях: он имеет широкий практический потенциал. Например, с его помощью можно исследовать процесс так называемого когерентного рассеяния нейтрино, которое на практике никому пока не удавалось наблюдать. Подобная информация чрезвычайно интересна не только с точки зрения фундаментальной науки, но и с практической, так как на ее основе можно разработать дистанционную диагностику работы ядерного реактора.

Как известно, атомные электростанции предназначены для выработки энергии. Однако одновременно они могут использоваться и как источник плутония для производства ядерного оружия. Пресечь вывоз «отходов» в виде оружейного плутония – задача далеко не простая. Но можно рядом с реактором поставить детектор, который будет постоянно отслеживать потоки антинейтрино и сообщать, что на нем производится помимо электроэнергии. Пока такого оборудования не существует, но разработанная в лаборатории методика позволяет создать детектор небольшого размера, кото-

В ПОИСКАХ АНТИМАТЕРИИ

Мы знаем, что во Вселенной вокруг нас на расстояниях по меньшей мере 30 млн световых лет находится преимущественно обычное вещество, состоящее из электронов, протонов и нейтронов. Известно, что существуют также античастицы, противоположные обычным частицам по знаку электрического заряда и магнитному моменту: позитроны, антипротоны и антинейтроны. Наличие этих элементарных частиц многократно фиксировалось приборами, однако доля их очень мала – в тысячи раз меньше, чем частиц обычного вещества. Еще полвека назад академик А. Д. Сахаров сформулировал в очень красивой теории причину подобного дисбаланса вещества и антивещества во Вселенной.

Теоретически могут существовать любые антиядра, соответствующие всем известным атомным ядрам. Легкие антиядра антидейтерия и антигелия могут получаться при столкновениях энергичных космических лучей. Образование более сложных антиядер тоже возможно в результате подобных реакций, но чем тяжелее ядро, тем меньше вероятность его рождения. Причем вероятность образования даже антигелия, состоящего всего лишь из 3 антинуклонов, ничтожно мала.

Обнаружение естественного антигелия было бы очень сильным аргументом в пользу наличия во Вселенной целых

рый сможет в автономном режиме, без участия оператора, регистрировать время запуска реактора и время его остановки для перезагрузки ядерного топлива.

Приборы такого типа можно использовать и для медицинских целей, например, для позитронно-эмиссионной томографии.

В расширяющейся Вселенной

Как упоминалось выше, разработка метода поиска темной материи является важнейшей задачей лаборатории космологии и элементарных частиц, созданной на средства «мегагранта», но далеко не единственной. Как ясно из названия лаборатории, она занимается проблемами не только «микрокосма», но и макрокосмическими объектами, в том числе звездами. Нам удалось разработать также новый метод определения космологических расстояний – с помощью сверхновых звезд типа III.

Нужно отметить, что астрофизикам хорошо известны сверхновые звезды другого типа – типа Ia, возникающие в результате взрыва «белых карликов», набравших массу близкую к предельной норме. Их пиковая мощность излучения разная при разных взрывах, но благодаря особенностям механизма взрыва астрономам удается ее оценить по темпу падения светового потока после пика.

антимиров – подобных нашему, но состоящих из антиматерии, из антиядер. Поэтому ученые активно пытаются искать следы антивещества – сейчас в мире действуют три проекта по поиску антигелия разными приборами. Японцы ищут античастицы в космическом излучении, запуская исследовательское оборудование на воздушных шарах на большую высоту в верхние слои атмосферы. В совместном российско-итальянском проекте поиск специализированным детектором идет со спутника на орбите Земли. Американцы создали и запустили в космическое пространство спектрометр для анализа антиматерии, используя огромный трехтонный магнит, «списанный» в Европейском Центре ядерных исследований. Еще два более чувствительных проекта по поиску антиядер находятся в разработке. Но когда эти проекты стартуют, пока неизвестно.

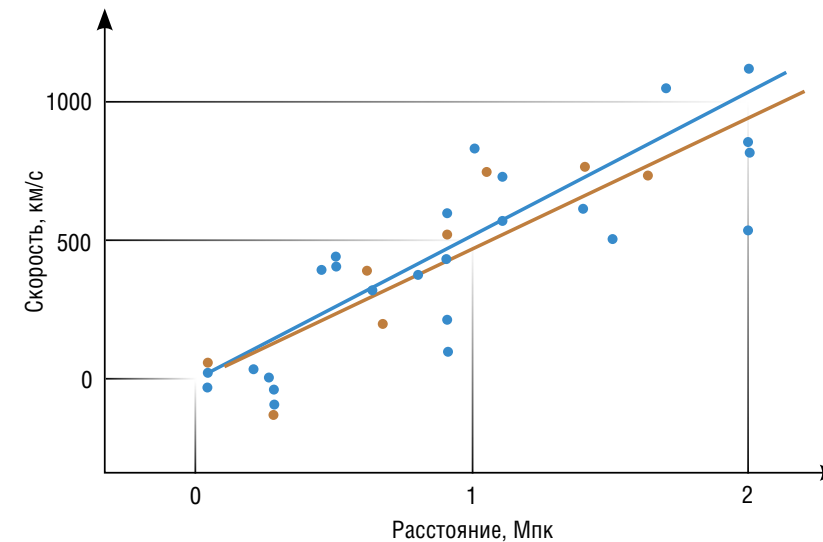
В лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ изучаются модели, согласно которым во Вселенной имеется значительное количество антивещества, причем не в десятках миллионов световых лет от нас, а недалеко, даже в нашей Галактике. Мы получили интересные наблюдаемые следствия, которые могут помочь в открытии космологической антиматерии и, в частности, антизвезд

Поэтому по потоку достигающего нас «звездного света» можно с достаточной точностью вычислить расстояние до них: если мощность вспышки в пике известна, то чем дальше звезда, тем слабее ее поток. После этого можно сравнить так называемое красное смещение в спектре излучения сверхновой и расстояние до нее с тем, что предсказывает теория.

Вообще спектр звездного света измеряется достаточно просто, если хватает приходящих фотонов, поэтому для достаточно яркой звезды (не обязательно сверхновой) красное или синее смещение линий в спектрах определяется вполне надежно.

Различить отдельные звезды даже в близких галактиках очень трудно – фотонов приходит к нам очень мало. Но смещение спектральных линий в спектрах целых галактик измерить можно! Там складываются потоки фотонов от многих миллиардов звезд галактик.

Еще в начале прошлого века научились измерять смещение линий в спектрах галактик и выяснили, что для всех галактик, более далеких, чем наша соседка М31 в созвездии Андромеды, наблюдается только красное смещение линий – синего смещения нет! Причем чем дальше галактика, тем больше ее красное смещение, и величины отношения красного смещения галактики к расстоянию до нее лишь незначительно различаются для разных галактик, а их среднее значение, умножен-



В 1929 г. Э. Хаббл построил график зависимости скорости удаления галактик от расстояния до них и обнаружил ее линейный характер.

Синие точки и линия – аппроксимация по индивидуальным галактикам, входящим в рассмотренные Хабблом скопления. Коричневые точки и линия – галактики, сгруппированные по принципу близости расположения в космическом пространстве.

По: (PNAS, March 15, 1929, vol. 15, no. 3, p. 168–173)

НЕПОСТОЯННАЯ «ПОСТОЯННАЯ»

В 1929 г. Хаббл оценивает с помощью специальной техники расстояния до 46 галактик и, располагая на графике их лучевые скорости, полученные Слайфером, в зависимости от расстояний до них, обнаруживает, что полученные точки лежат достаточно близко от некоторой прямой линии. Наклон этой прямой, вычисленный им как 530 км/сек/Мпс, получает название постоянной Хаббла.

На заседании Английского астрономического общества в 1930 г. признанные мэтры космологии А. С. Эддингтон и В. де Ситтер признали, что популярная модель Вселенной де Ситтера не в состоянии объяснить линейную зависимость, обнаруженную Хабблом. Тогда Леметр обращает внимание Эддингтона на свою работу 1927 г., и тот воспринимает идею расширяющейся Вселенной как откровение. Следующим был де Ситтер, заявивший, что «наконец-то пелена спала с его глаз».

Дольше всех противится новой теории Эйнштейн, но и его мнение постепенно меняется, чему способствуют публикация результатов Хаббла и найденное Эддингтоном в том же году доказательство неустойчивости статического решения самого Эйнштейна, даже при наличии положительной космологической постоянной.

В начале 1931 г. Эйнштейн отправляется в калифорнийскую обсерваторию Маунт Вильсон, чтобы лично поговорить с Хабблом и обсудить его результаты. Вернувшись в Берлин, Эйнштейн пишет работу, где признает теорию расширения Вселенной, отмечая приоритет Фридмана, и предлагает исключить из общей теории относительности своего давнего «недруга» – космологическую постоянную. До открытия того факта, что расширение Вселенной происходит с ускорением, оставалось еще почти столетие. Неудивительно, что Эйнштейн полагал, что модель расширяющейся Вселенной – решение, вытекающее из теории Фридмана при нулевом значении космологической постоянной, – является единственно верным описанием Вселенной.

В 1932 г. Эйнштейн и де Ситтер написали совместную работу, где предложили исключить из общей теории относительности не только космологическую постоянную, но и идею об искривленной Вселенной, предлагая рассматривать только «плоскую» модель. Именно такая модель и станет основной для теории расширяющейся Вселенной на целые десятилетия вперед, и почти до конца века учебники по космологии будут разве что в примечаниях обсуждать модели с ненулевой космологической постоянной.

По: (НАУКА из первых рук, № 5 (47), 2012)



Форма останков сверхновой звезды G352.7-0.1 кардинально зависит от диапазона электромагнитного излучения, в котором производится съемка. На фото представлен коллаж окрестности этой бывшей звезды, где синему цвету соответствует рентгеновское излучение, пурпурному – радиоизлучение, оранжевому – инфракрасное, а белому – видимое (оптическое).
Image credit: X-ray: NASA/CXC/Morehead State Univ/T.Pannuti et al.; Optical: DSS; Infrared: NASA/JPL-Caltech; Radio: NRAO/VLA/Argentinian Institute of Radioastronomy/G.Dubner
 По: http://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/multimedia/supernova-cleanup.html

ОТТАЛКИВАНИЕ ВМЕСТО ПРИТЯЖЕНИЯ

В плане работ лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ указано еще одно интригующее направление космологических работ – «исследование модифицированной гравитации». Дело в том, что механизм ускорения расширения Вселенной можно описать с помощью не только представлений о темной энергии, но и принципиально другой гипотезы – модифицированного закона гравитации. Суть этой гипотезы в том, что гравитационный потенциал обратно пропорционален расстоянию только на умеренных расстояниях, сопоставимых с размером местного скопления галактик. Как физики уже убедились, на таких расстояниях этот закон работает очень хорошо. А вот на больших расстояниях зависимость может быть какая-то иная, «модифицированная». Понятно, что эта гипотеза является теоретической спекуляцией, потому что достоверно обнаружить подобный эффект, наблюдая движение дальних галактик, очень трудно.

ное на скорость света (так называемый *параметр Хаббла*), характеризует относительный темп расширения Вселенной. На основе этой величины были рассчитаны расстояния до многих галактик.

Однако по мере совершенствования средств наблюдения выяснилось, что световые потоки от очень далеких сверхновых, свет от которых идет до нас около миллиарда лет, слабее, чем ожидалось в обычной теории. Это могло означать, что они находятся дальше, чем предполагалось ранее. Так оно и оказалось при анализе совокупности астрономических наблюдений. Это можно объяснить, если расширение Вселенной в какой-то момент стало ускоряться.

В результате был сделан вывод об ускоренном расширении Вселенной. За это поистине выдающееся открытие американские астрофизики S. Perlmutter, B. P. Schmidt, A. G. Riess были в 2011 г. удостоены Нобелевской премии. Кстати, ускорение «разбегающегося» нашего мира в современной теории связывают с понятием *темной энергии*.

Сверхновые стали «ближе»

Для надежного определения расстояний до удаленных галактик необходимы новые методы, не опирающиеся на многоступенчатую шкалу космических расстояний, подверженную плохо контролируемым ошибкам. Здесь на сцену и выходят сверхновые звезды типа IIp, которые в сотни раз ярче, чем звезды типа Ia, и светятся намного

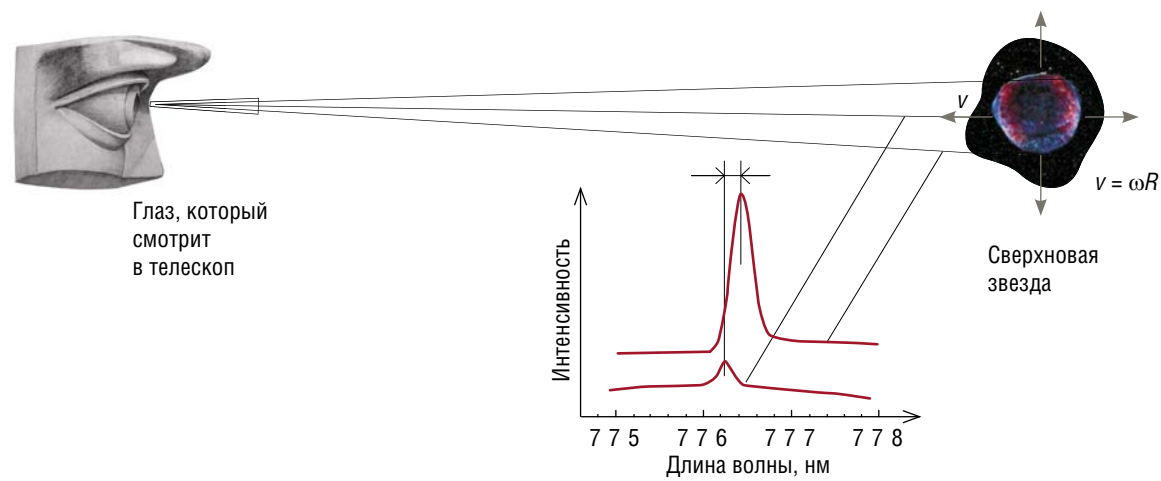
В старых логиях писали: «там, где неизвестность, всегда предполагай ужасы». Давайте предположим «нечто ужасное» с точки зрения классической физики: что, начиная с какого-то расстояния, гравитационное притяжение сменяется гравитационным отталкиванием. При этом в общей теории относительности некоторым образом видоизменяются уравнения движения, из решения которых следует, что замедление расширения Вселенной на каком-то этапе сменяется ускорением. Этот вывод подтверждается последними астрономическими данными.

Более того, модифицированный закон гравитации имеет очень интересные следствия, предсказания, которые можно экспериментально проверить. Например, что кривизна пространства начинает осциллировать с большой частотой, что приводит к рождению элементарных частиц с массой, соответствующей частоте осцилляций (Arbuzova et al., 2012)

дольше – месяцы или даже годы, претерпевая целую серию взрывов. Поняв механизм этого явления, научная группа лаборатории, занимающаяся теорией эволюции звезд под руководством д.ф.-м.н. С. И. Блинникова из ИТЭФ (Москва), разработала достаточно простую модель, чтобы определять космологические расстояния практически без привлечения дополнительных предположений. Согласно этой модели, светящаяся оболочка такой взрывающейся звезды имеет сферическую форму, почти изотропно расширяющуюся с течением времени. По смещению спектра той части оболочки, которая движется прямо на нас, можно определить скорость ее разлета, а по измеренному угловому размеру оболочки и скорости можно определить ее радиус. Зная радиус и его наблюдаемый с Земли угловой размер, можно вычислить расстояние до звезды (Blinnikov et al., 2012).

Этот принципиально новый метод позволяет сильно уменьшить систематические ошибки в определении параметра Хаббла и уточнить его значение. В свою очередь это позволило бы более точно определить уравнение состояния темной энергии и установить, в частности, совпадает ли она с *вакуумной энергией* (по-другому называемой *космологической постоянной*) или же имеет другую природу.

Однако из-за возможных погрешностей измерения для достижения приемлемой точности нужно провести наблюдения не одного, а сотен или, лучше, тысяч звездных объектов – именно в этом и состоит наша ближайшая задача. К сожалению, за всю историю «звездных»



Принципиальная схема независимого метода измерения космологических расстояний, предложенная в научной группе теории эволюции звезд лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ (Blinnikov *et al.*, 2012).

Реализация схемы стала возможной благодаря существованию сверхновых звезд типа IIp, которые светятся в течение долгих месяцев или даже лет. Их оболочка почти сферической формы изотропно расширяется. Поэтому, визуально наблюдая рост углового размера со временем, можно определить угловую скорость расширения оболочки звезды ω . По относительному смещению спектра излучения оболочки в середине (самой ближней к нам точке) и на ободке можно оценить линейную скорость расширения v . Отношение линейной скорости к угловой приблизительно соответствует расстоянию R до звезды

наблюдений было отмечено чуть более десятка взрывов сверхновых по типу IIp, поэтому данных для обобщений пока недостаточно. Тем не менее, сейчас уже появляются новые телескопы, которые постоянно сканируют весь небосклон, регистрируя всю поступающую информацию*. Дальше за дело должны взяться астрофизики, чтобы проанализировать огромный объем полученных данных, найти и точно классифицировать нужные события, обработать спектры излучения во времени и, наконец, выдать результат в виде значений параметра Хаббла в зависимости от уточненного расстояния до этих объектов. Так что нашим «наблюдателям» работы хватит надолго.

Физики понимают, что создать универсальный детектор элементарных частиц, в том

Руководитель группы теории эволюции звезд лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ д. ф.-м. н. С. И. Блинников

* О сканирующих небосклон телескопах читайте в «НАУКЕ из первых рук» № 2 (50) 2013. С. 45–46



Сверхновая звезда 2014J, вспыхнувшая на расстоянии около 11 млн световых лет от нашей галактики, является ближайшей среди звезд, свет от взрыва которых достиг Земли за последнее десятилетие. Фото смонтировано из изображений окрестностей звезды, полученных орбитальным рентгеновским телескопом «Чандра» на 13-й день после регистрации взрыва. Мягкое, среднее и жесткое рентгеновское излучение показаны соответственно красным, зеленым и синим цветом. Credit: NASA/CXC/SAO/R.Margutti *et al.*

**ЭКСПЕРИМЕНТ И ТЕОРИЯ
В РАВНОЙ МЕРЕ ВАЖНЫ**

В этом году два сотрудника лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ – проф. А. Д. Долгов и чл.-кор. РАН И. И. Ткачев, получили престижную премию имени академика М. А. Маркова Института ядерных исследований РАН за пионерные работы в области теоретической астрофизики и космологии. Нужно отметить, что все члены лаборатории, за исключением студентов, вошли в ее состав уже состоявшимися учеными, каждый со своими идеями, которые они продолжают развивать. Таким образом, большая часть достижений сотрудников лаборатории является во многом результатом их предыдущего опыта работы.

Эксперимент и теория в равной мере важны, потому что в процессе обсуждения научных результатов идет взаимное обогащение идеями. И те студенты и аспиранты, которые сегодня проходят обучение в наших стенах, имеют полную возможность получить полноценное образование и в теоретической, и в экспериментальной части. Также у них появилась прекрасная возможность глубоко познакомиться с анализом и обработкой астрофизических данных, которых сейчас поступает очень много

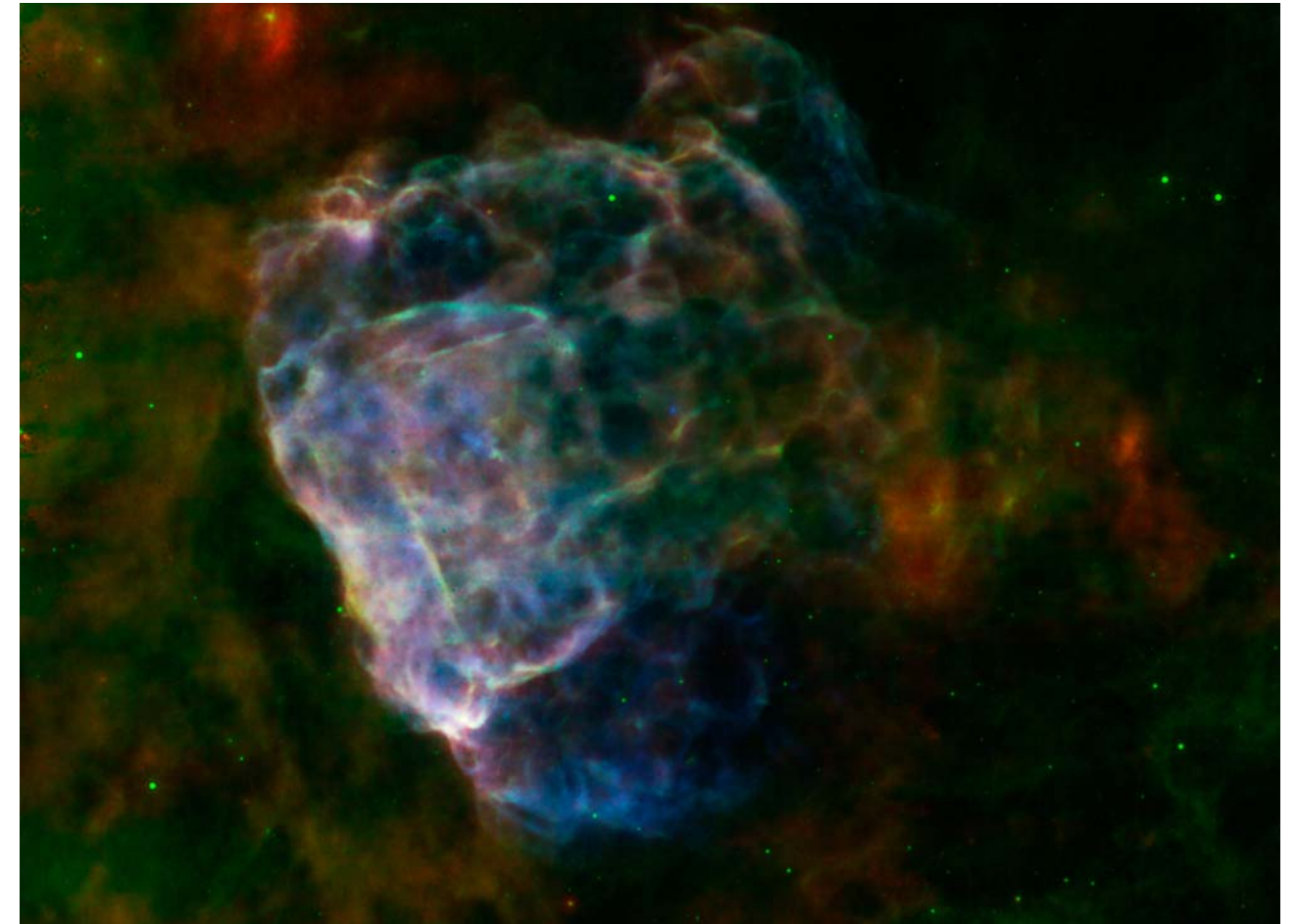


Заведующий лабораторией космологии и элементарных частиц НГУ, проф. А. Д. Долгов рассказывает журналистам «НАУКИ из первых рук» о задачах современной космологии

числе частиц темной материи, невозможно. Не исключено, что путь, по которому пошли в новосибирской лаборатории, не приведет к успеху. Это может случиться, если частицы окажутся совсем не такими, как ожидалось: намного более тяжелыми или, напротив, более легкими. А создаваемый здесь детектор на жидком аргоне, как и любой другой, способен зарегистрировать лишь ограниченный диапазон масс частиц. Однако исследователи верят в правильность выбранной стратегии и решают задачи, актуальные на текущий момент.

Безусловно, три года, на которые дается финансирование по гранту – это не срок для реализации такого фундаментального проекта, он требует намного более значительных затрат средств и времени. Чтобы довести идею до работающего прибора, решить все технические проблемы, выявить все возможные области его применения, понадобится годы, а, может быть, и десятки лет.

Исследовательские группы из разных стран, занимающиеся созданием установок для поиска частиц темной материи, безусловно, находятся в состоянии своеобразной конкуренции, научного соревнования. Пока нельзя сказать, что где-то уже создан прибор, который заведомо удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к детекторам темной материи. Но эта область фундаментальной науки – открытая. Все полученные результаты регулярно публикуются, ученые постоянно встречаются на конференциях, обмениваются идеями и мнениями. Ведь в науке часто бывает так, что кто-то делает первый шаг, а следующие шаги – уже другие люди, но она все равно обязательно будет двигаться вперед.



На этом изображении видна разрушительная сила мощного взрыва сверхновой звезды. Пузырящееся облако – это ударная волна неправильной формы, порожденная сверхновой звездой, взрыв которой могли бы заметить на Земле 3,7 тыс. лет назад. Останки этой звезды (объект Ruppis A) удалены от нас на расстояние около 7 тыс. световых лет, а их размеры достигают почти 10 световых лет. Фото смонтировано из изображений, сделанных в инфракрасном (красный и зеленый цвет соответствует длине волн 70 мкм и 24 мкм, соответственно) и рентгеновском (синий цвет) диапазоне. Credit: NASA/ESA/JPL-Caltech/GSFC/IAFE

Литература

Долгов А. Д. Космология и элементарные частицы, или небесные тайны. // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2012. Т. 43. Вып. 3. С. 528–572.

Долгов А. Д. Космология: от Померанчука до наших дней. // Успехи физических наук. 2014. Т. 184. № 2. С. 211–221.

Бондарь А. Е., Бузулуцков А. Ф., Долгов А. Д., и др. Проект двухфазного криогенного лавинного детектора для поиска темной материи и регистрации низкоэнергетических нейтрино // Вестн. НГУ. Сер. Физика. 2013. Т. 8. Вып. 3. С. 13–26.

Бондарь А. Е., Бузулуцков А. Ф., Долгов А. Д., и др. Исследование характеристик двухфазного криогенного лавинного детектора в аргоне // Вестн. НГУ. Сер. Физика. 2013. Т. 8. Вып. 2. С. 36–43.

Arbuzova E. V., Dolgov A. D., Reverberi L. Curvature oscillations in modified gravity and high energy cosmic rays // Eur. Phys. J. C. 2012. Doc. 72:2247.

Blinnikov S., Potashov M., Baklanov P., and Dolgov A. Direct Determination of the Hubble Parameter Using Type II Supernovae // JETP Lett. 2012. Vol. 96. No. 3. P. 153–157.