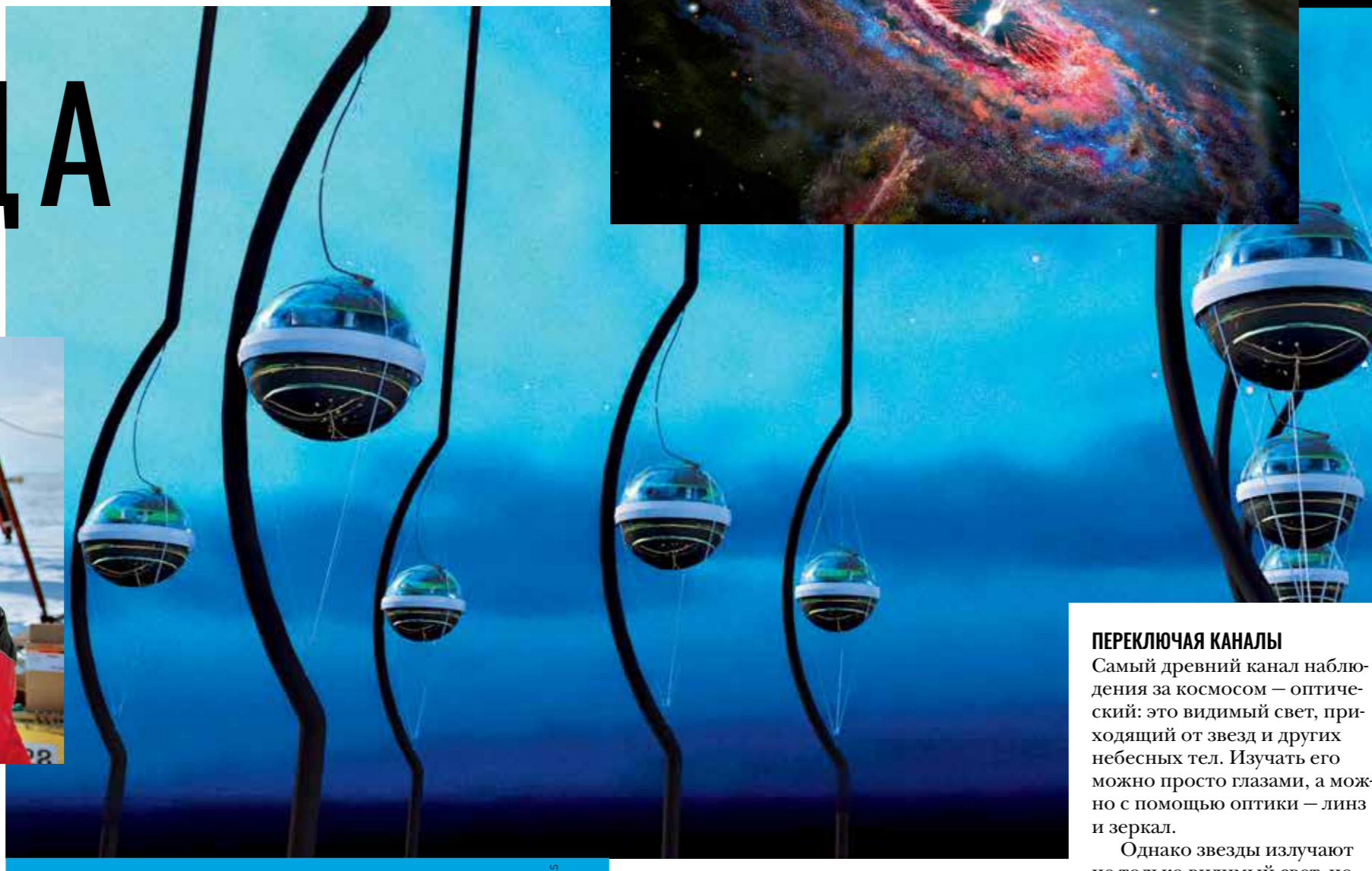


ЧАСТИЦА целого



В середине марта российские физики запустили на Байкале первую очередь нейтринной обсерватории Baikal-GVD. С этого дня российская установка сравнялась по нескольким главным параметрам с другим нейтринным детектором — обсерваторией IceCube в Антарктиде.



Астрономы древности изучали Вселенную, запрокинув голову и глядя в небо. Но сейчас для того, чтобы узнать, что происходит за пределами Земли, иногда приходится опускать голову — и вглядываться в происходящее в толще воды, льда или даже под толщей горных пород. Все дело в том, что современным звездочетам доступно сразу несколько каналов наблюдения.

ФОТО: LEGION-MEDIA, Баир Шайбоннов / Институт ядерных исследований РАН, Jamie Yang / IceCube Collaboration, NASA Images

Нейтринные обсерватории часто представляют собой гирлянды приборов, развешанные в большом объеме воды. ОБСЕРВАТОРИЯ BAIKAL-GVD как раз из таких. Она ловит нейтрино, прилетающие из других галактик



ПЕРЕКЛЮЧАЯ КАНАЛЫ

Самый древний канал наблюдения за космосом — оптический: это видимый свет, проходящий от звезд и других небесных тел. Изучать его можно просто глазами, а можно с помощью оптики — линз и зеркал.

Однако звезды излучают не только видимый свет, но и все оттенки невидимого глазу спектра, от радиоволн до гамма-лучей. Для их исследования строят телескопы, которые совсем не похожи на трубки с линзами и зеркалами. Например, радиотелескопы — это огромные антенны, устремленные в небо, а иногда — целые поля, уставленные такими антеннами.

Рентгеновские и гамма-обсерватории представляют собой длинные полые трубки с изогнутой внутренней поверхностью из таких хитрых материалов, которые отклоняют рентгеновские и гам-

ма-лучи так же, как обычное зеркало отклоняет солнечный зайчик. До поверхности Земли рентген и гамма-лучи не доходят, поэтому такие телескопы — космические.

Некоторые небесные тела генерируют не только излучение, но и колебания пространства-времени — гравитационные волны. Чтобы ловить и измерять эти волны, строят необычные обсерватории — длинные и прямые, как Ленинский проспект в Москве, подземные тоннели, уставленные зеркалами и датчиками.

Пожалуй, самые экзотические сооружения — это нейтринные обсерватории. Для них выбирают самые необычные локации: антарктический лед, глубины морей или чистые воды Байкала. Большая часть нейтринных телескопов выглядит как нити великанских бус, опущенных под воду или в ледяные скважины. Каждая бусина в них — это стеклянный шар диаметром 45-50 сантиметров. Внутри шара размещен фотодетектор — устройство, которое регистрирует слабые вспышки света. Группа вспышек может говорить о том, что рядом пролетела частица под названием нейтрино.

Российская нейтринная обсерватория на Байкале — самый точный и важный инструмент такого рода в северном полушарии. На юге нейтрино ловит антарктический IceCube (США), крупнейший охотник на космические нейтрино в мире. В этом году байкальский телескоп получил очередную партию фото-

1 Опускать гирлянды фотоумножителей в воду удобнее всего в начале весны, когда байкальский лед особенно прочен

2 Каждый шар в гирлянде нейтринного телескопа — это фотоумножитель. Он регистрирует вспышки света, которыми изредка сопровождается пролет нейтрино высоких энергий



1

детекторов — и сравнялся с IceCube рабочим объемом. В Средиземноморье строится третья большая нейтринная обсерватория — европейский KM3NeT.

Нейтринный телескоп нельзя развернуть в сторону наблюдаемого объекта. Можно только ждать, по-

ка мимо датчиков пролетит желанное нейтрино — и оставит след. Нейтрино не любят оставлять следы и делают это редко, поэтому чем больше объем, в котором ищут следы нейтрино, тем больше шансов их найти. Расставив фотодетекторы в кубическом километре воды или льда, можно надеяться на «улов» в несколько нейтрино в год. IceCube за десять лет набрал около ста нейтрино, а у байкальской обсерватории такие цифры еще впереди.

3

КОСМИЧЕСКИЙ ГОНЕЦ

Нейтрино — гонцы из горячих точек Вселенной. Они рождаются там, где на больших скоростях летят и сталкиваются частицы, уско-

ренные электрическими и магнитными полями. Такие вещи происходят в недрах звезд, ядрах галактик, планет, в ядерных реакторах и ускорителях частиц вроде Большого адронного коллайдера.

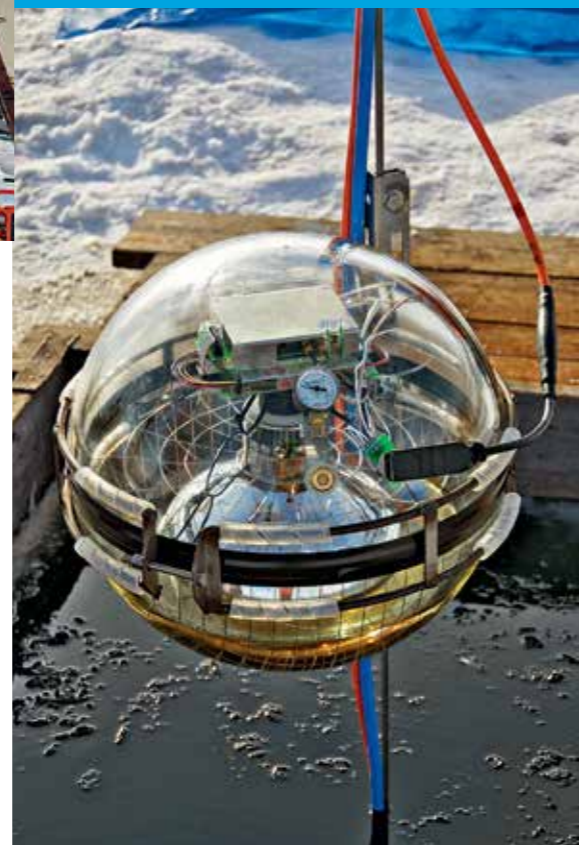
В отличие от других частиц из подобных мест, нейтрино очень прямолинейны. В буквальном смысле: они всегда летят по прямой. Их не сбивают с пути ни облака космической пыли, ни магнитные поля, ни даже планеты и звезды. Через человека каждую секунду пролетают триллионы таких частиц — без всяких последствий.

Именно поэтому нейтрино так ценны: они летят напрямик к нам отсюда, откуда другие частицы не долетают или долетают медленно и по искривленной траектории. Например, нейтрино — единственные частицы, способные быстро «сбежать» из недр Солнца; все остальные, едва родившись, начинают взаимодействовать с окружающим веществом. Даже



4

3, 4 Фотодетекторы погружаются почти на километровую глубину. Единственный свет там — вспышки черенковского излучения, говорящие о присутствии космических нейтрино



2

ФОТО: KM3NeT IMAGES; Баир Шайбенов / Институт ядерных исследований РАН, Mark Krasberg / IceCube/NSF, IceCube Collaboration/NSF



5

частицы света, поглощаясь и переизлучаясь, надолго задерживаются в звезде. Нейтрино же сразу устремляются прочь.

Прилетев на Землю, нейтрино могут рассказать две вещи. Во-первых, историю своего появления на свет. В случае с Солнцем это рассказ об идущей в нем термоядерной реакции. О том, что Солнце — это растянутый во времени термоядерный взрыв, ученые догадывались, но доказали именно с помощью излучения солнечных нейтрино. За эту работу в 2002 году получили Нобелевскую премию американский химик Рэймонд Дэйвис и японский физик Масатоши Кошиба.

А во-вторых, долетев до Земли, нейтрино могут выдать место своего рождения. Правда, выведать его у частиц совсем не просто. У байкальской обсерватории это вскоре будет получаться лучше всех.

ЗАГАДКА ИСТОЧНИКА

Недолгая история физики космических нейтрино уже принесла несколько важных открытий. Первое — пресловутая история с термоядерной реакцией внутри Солнца (а значит, и всех остальных звезд).

Чуть позже поток нейтрино из галактики Большое Магелланово Облако, нашей



Только несколько лет назад мы узнали о том, что САМЫЕ ЭНЕРГИЧНЫЕ НЕЙТРИНО прилетают к нам из ядер далеких галактик



6



7

5 Нейтринная обсерватория IceCube находится в Антарктиде

6 Фотодетекторы европейской обсерватории KM3NeT спускают в Адриатику

7 Для антарктической обсерватории во льду проплавливают скважины

соседки, позволил подтвердить справедливость современных представлений о том, как взрываются сверхновые.

Третьим открытием стало выявление источника нейтрино сверхвысоких энергий — ядра далекой-далекой галактики.

Для неспециалиста сообщения такого рода звучат скучно. Что с того, что какая-то галактика плюется очень энергичными нейтрино? Но на самом деле это потрясающее открытие. Тогда, в сентябре 2017 года, ученым впервые за десять лет работы удалось понять, что представляет собой источник нейтрино огромной энергии — в миллион раз больше солнечных. Обсерватория IceCube зарегистрировала частицы, прибывшие на Южный полюс, и определила их направление. Направив несколько телескопов на тот же квадрат неба, астрономы обнаружили там квазар.

Квазар — это пушка галактических масштабов. Он представляет собой центр галактики со сверхмассивной черной дырой посередине. В черную дыру непрерывно падает огромное количество вещества: облака газа, пыли, целые звезды. Раскручиваясь при падении, вещество иногда избегает притяжения



Источники космических нейтрино сверхвысоких энергий, квазары — это КОСМИЧЕСКИЕ БУРИ, по сравнению с которыми даже ВСПЫШКИ СВЕРХНОВЫХ выглядят незначительными



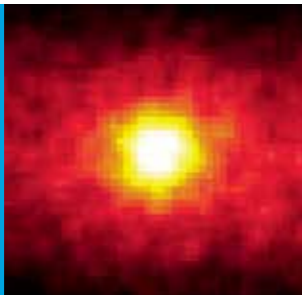
будут подключать коллег со всего мира — чтобы антенны и зеркала всех мастей разворачивались и устремлялись в нужном направлении.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Зачем нам вообще знать, какие в каких космических катаклизмах рождаются нейтрино, а в каких — нет? Астрономы скажут, что это нужно для того, чтобы лучше

разобраться в том, как устроены звезды, галактики и черные дыры, как родилась наша Вселенная и что с ней будет в будущем. Физики добавят, что изучение нейтрино позволит нам ответить на фундаментальные вопросы устройства мира.

Изучение солнечных и атмосферных нейтрино в свое время позволило расширить и уточнить Стандартную модель — наш самый главный сгусток знания о том, как устроена материя. За эти уточнения в 2015 году была вручена Нобелевская премия по физике; ее получили ученые, доказавшие, что у нейтрино есть масса, причем различная — у трех разных типов этих частиц.



2

черной дыры и выстреливает наружу мощной струей. Как мы теперь знаем, в этом потоке есть и нейтрино.

Сейчас ученым предстоит собрать больше данных об источниках нейтрино сверхвысоких энергий. Рождаются ли они только в квазарах (и в каких разновидностях «космических пушек»), при каких условиях, сколько таких объектов в наблюдаемой Вселенной и какие физические процессы в них идут — на все эти вопросы должен ответить Baikal-GVD.

Для этого байкальская обсерватория будет работать в связке с другими астрономическими инструментами — оптическими, радио-, гамма- и рентгеновскими телескопами. «Поймав» нейтрино и точно определив, из какой точки неба оно пришло, астрономы, работающие на Байкале,



1 В 1987 году ученые по потоку нейтрино узнали о том, что в галактике Большое Магелланово Облако взорвалась сверхновая

2 Это фотография Солнца, сделанная буквально сквозь Землю. Каждая яркая точка на снимке — множество нейтрино, прилетевших от Солнца

3 Самые мощные источники нейтрино в космосе находятся в центрах галактик, где черные дыры создают гигантские водовороты вещества



Байкал поможет

Байкал, как известно, самое чистое пресноводное озеро на Земле, но для наблюдений за нейтрино важно не это; в Мировом океане есть места с гораздо более прозрачной водой. Дело скорее в сочетании объемов Байкала и русской зимы.

Работы по обновлению Baikal-GVD проводятся в марте, когда лед на Байкале такой толстый, что по нему без опаски можно гонять спецтехнику. От обсерватории до берега — всего четыре километра, условия — экстремально-курортные. Обновлять и чинить детекторы со льда гораздо удобнее (и дешевле!), чем с морского судна. А вот антарктический ледяной детектор вообще не позволя-



ет проводить техобслуживание: что вмерзло в лед в Антарктике, то осталось там навсегда.

Но все-таки чистота байкальской воды важна. Ведь во

льду, даже в самом чистом, свет рассеивается на пузырьках воздуха, что мешает установить абсолютно точно направление нейтрино. А вода Байкала позволяет определять направление источника нейтрино с очень высокой точностью. Именно с Baikal-GVD связывают надежды на обнаружение космических источников нейтрино самых больших энергий.

За фундаментальными открытиями такого рода редко следуют быстрые практические результаты. Но кое-какие реальные применения знаний о физике нейтрино уже существуют. Они помогают, например, диагностировать ядерные реакторы — по потоку рождающихся в них нейтрино можно понять, нарабатывается ли в реакторе оружейный плутоний.

А еще с помощью нейтрино можно просвечивать Землю — почти так же, как в рентгеновском кабинете просвечивают человеческое тело. По нейтринным данным геофизики судят о процессах, которые происходят глубоко в раскаленном ядре нашей планеты.

И, пожалуй, самое интригующее: теоретически нейтрино можно использовать для обмена информацией — так, как мы используем для передачи сообщений свет, электрический ток и радиоволны. Вероятно, когда-нибудь нейтринная связь пригодится там, где обычная бесполезна, например глубоко под водой или под землей. Ведь для нейтрино ничего не стоит пролететь насквозь океан или всю Землю. Но чтобы однажды получить телеграмму по нейтринному телефону, нам еще многое предстоит узнать об этих частицах — в том числе об их космической разновидности, за которой охотится байкальская обсерватория.

ФОТО: NASA IMAGES, LEGION-MEDIA