

Посланцы из неведомых краев

СЕРГЕЙ ПОПОВ

XXI веку есть что противопоставить удивительным рисункам в пустыне Наска, рассмотреть которые как следует можно только с высоты птичьего полета. У подножия Анд, в аргентинской желтой прерии, на территории в 3 000 квадратных километров раскинулся комплекс загадочных сооружений, словно ожидающих небесных знамений от таинственных языческих божеств. Но на самом деле ученые, работающие на стыке астрономии и физики элементарных частиц, встречаются здесь «посланцев» неведомых космических суперускорителей.

Проект мегаобсерватории имени Оже появился в 1991 году. Первые результаты стали получать в начале 2004 года на уже смонтированных к тому моменту детекторах. А в нынешнем году монтаж установки завершается. В законченном виде обсерватория будет включать более полутора тысяч приемных станций и 24 телескопа. Обсерватория получила свое название в честь известного французского ученого Пьера Оже (Pierre Auger) и является самым крупным на сегодня проектом, предназначенным для изучения космических частиц с гигантскими энергиями — до 10^{20} электронвольт и даже больше. Чтобы представить эту величину, достаточно сказать, что кинетическая энергия молекул воздуха, которые летают вокруг нас со скоростью полкилометра в секунду, составляет всего сотую долю электронвольта. На современном ускорителе можно разогнать протоны до околосветовой скорости и столкнуть их с энергией 10^{12} эВ (1 ТэВ). Пока это предел. И вряд ли его значение можно будет серьезно поднять в обозримом

будущем. Ускорители уже являются самыми дорогими физическими приборами, а создание более мощных агрегатов потребует и вовсе астрономических затрат.

Однако во Вселенной протекают процессы (пока до конца непонятые нами), которые могут разгонять частицы до 10^{20} эВ и даже больше. Это десятки джоулей! По меркам микромира — колоссальная величина! Не всякий опытный теннисист сумеет приложить такую энергию к пущенному им мячу — а в микромире она приложена к одной-единственной элементарной частице (для сравнения: в теннисном мяче 10^{25} протонов и нейтронов). Вопрос о том, как космические лучи разгоняются до столь высоких энергий, пока остается без ответа.

Ни для кого не будет сюрпризом, что тараканов на свете больше, чем слонов. В некоторых домах популяция тараканов может превосходить всю мировую популяцию слонов. Чем крупнее животное, тем реже оно размножается. Похожая ситуация имеет место быть и в мире космических лучей. Чем выше энергия,

тем реже такие частицы встречаются. Наиболее экзотические из них, с энергией быстролетящего теннисного мяча, попадают на площадку в один квадратный километр всего лишь раз в сотню лет. Чтобы регистрировать хотя бы несколько десятков суперчастиц в год, нужны гигантские комплексы детекторов.

ДЕТИ ГАЛАКТИКИ

Частица может сразу родиться высокоэнергичной или же набрать энергию в процессе ускорения. В астрофизике известны два основных механизма разгона частиц. Один из них реализуется, например, в пульсарах и немного похож на работу земных ускорителей. Заряженная частица движется вдоль силовой линии магнитного поля, как бусинка на проволоке, а электрическое поле, возникающее из-за вращения замagnetизированной нейтронной звезды, ее разгоняет. Но у этого механизма есть предел. Чем выше становится энергия частицы, тем труднее магнитному полю ее удержать. Кроме того, частица норовит избавиться от излишка энергии, излучив его в ви-



Пьер Виктор Оже (1899—1993) — французский ядерный физик, первооткрыватель широких атмосферных ливней

де электромагнитных волн. Такое излучение всегда возникает при ускоренном движении заряда, в том числе при движении по окружности или вдоль искривленных линий магнитного поля. Магнитары — очень сильно замагниченные нейтронные звезды — в принципе могли бы разгонять частицы до сверхвысоких энергий, но потери энергии на излучение все портят. Двигаясь по искривленным силовым линиям магнитного поля, частица быстро высвечивает (теряет) сообщаемую ей энергию и улетает навсегда, так и не удержав всю ту энергию, которая она могла бы «вместить».

Другой механизм ускорения частиц был предложен Энрико Ферми (E. Fermi) и носит его имя. В нем

частицы разгоняются в области ударных волн, многократно пересекая их фронт. При прохождении ударной волны количество вещества остается постоянным, но сразу за фронтом волны оно сжимается и должно иметь меньшую скорость — точно так же автомобили в пробке расположены плотнее и движутся медленнее, чем за ее пределами. Частица, перескочив через фронт и столкнувшись с частицами по ту сторону ударной волны, приобретет дополнительную энергию. Если вдобавок в веществе есть магнитное поле, то заряженная частица может развернуться и перескочить через ударную волну еще раз. Так, прыгая туда-сюда много раз, частица увеличивает свою энергию, как мячик между двумя быстро сближающимися стенками.

Где же найти достаточно мощные ударные волны? Во время взрывов сверхновых высвобождается гигантское количество энергии. Кроме того, такие взрывы случаются достаточно часто. В галактике типа нашей, а таких в видимой части Вселенной около ста миллиардов, подоб-

ные катаклизмы происходят раз в несколько десятков лет. После взрыва за несколько тысяч лет около 10% механической энергии расширяющегося остатка сверхновой может превратиться в энергию частиц.

Данная теория происхождения космических лучей в последнее время получила убедительные подтверждения. Помогли в этом рентгеновские наблюдения остатков сверхновых. Еще в 1995 году с помощью японского спутника ASCA удалось получить изображение остатка сверхновой 1006 года, однозначно говорящее о наличии в нем частиц с очень высокой энергией. Затем с помощью спутника Chandra этот результат был подтвержден для других остатков. Наконец, совсем недавно наземный гамма-телескоп H.E.S.S. смог четко зарегистрировать несколько остатков сверхновых в гамма-лучах очень высокой энергии, которые возникают в этих туманностях в результате «работы» ускоряемых в них космических лучей. Так что о рождении частиц с энергией примерно до 10^{16} эВ мы знаем уже достаточно много. ►

ОТКРЫТИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

История изучения космических лучей началась более ста лет назад.

В 1900 году было замечено, что даже в отсутствие радиоактивного вещества воздух в закрытом сосуде остается частично ионизованным. В 1911—1912 годах Виктор Гесс (Victor Hess) показал, что ионизирующее излучение имеет космическую природу. Поднимаясь вместе с детекторами на воздушном шаре, австрийский физик обнаружил рост интенсивности излучения с высотой. В дальнейшем Якоб Клей (Jakob Clay) выявил изменение интенсивности излучения с широтой, а это означало, что магнитосфера Земли влияет на проникновение частиц к поверхности планеты. Само название «космические лучи» появилось в 1925 году с легкой руки Роберта Милликена (Robert Millikan).

За открытие космических лучей в 1936 году Гессу была вручена Нобелевская премия. Вместе с Гессом премию получил Карл Андерсон (Carl Anderson), который в 1932 году обнаружил в космических лучах позитроны. Позднее они позволили обнаружить мюоны, пи-мезоны, К-мезоны, различные гипероны. По сути, пока ускорительная техника пребывала в зачаточном состоянии, то есть до 1950-х годов, основные открытия в физике элементарных частиц совершались при исследовании космических лучей. Кто знает, может быть, и теперь, когда ускорители «замерли» в районе энергий порядка нескольких тераэлектронвольт ($1 \text{ ТэВ} = 10^{12} \text{ эВ}$), космические лучи опять приведут к новым открытиям.

Появление такой области науки, как астрофизика космических лучей, относят к середине XX века. В нашей стране эта область науки развивалась во многом благодаря деятельности Д.В. Скобельцына и его учеников в МГУ. Например, в 1958 году Г.Б. Христиансен и Г.В. Куликов открыли самую главную деталь в энергетическом спектре космических лучей — излом на энергии примерно $3 \cdot 10^{15} \text{ эВ}$, так называемое «колени». Его наличие говорит о том, что космические лучи с энергиями выше и ниже «колена», по всей видимости, имеют разное происхождение (например, галактическое и внегалактическое). В последнее время кроме астрономов и физиков космическими лучами начали интересоваться и климатологи. Возможно, что галактические космические лучи вносят существенный вклад в формирование климата на Земле (см. «Вокруг света» №7 за 2006 год).



Остаток сверхновой SN 1006. В ударных волнах таких образований ускоряются галактические космические лучи

MASA

В нашей Галактике нет источников, способных разгонять элементарные частицы до сверхвысоких энергий

Однако в остатках сверхновых частицы сверхвысоких энергий рождаться не могут. Нужны какие-то другие источники.

ТАЙНА ИСТОЧНИКОВ

Впервые суперчастицы обнаружили в 1960-х годах. Это были единичные примеры регистрации на разных установках (в том числе и отечественных). Причем уверенности в измеренных значениях энергии не было. Но проблема уже тогда выглядела очень серьезной. Во-первых, разогнать частицы до таких энергий очень непросто, а во-вторых, такую большую энергию частице трудно сохранить.

Все дело в реликтовом излучении, которым заполнена вся Вселенная. Взаимодействуя с его фотонами, суперчастицы должны терять энергию, расходуя ее на рождение

новых частиц — пионов (пи-мезонов) или электрон-позитронных пар. Как показали в 1966 году К. Грейзен (Kenneth Greisen), Г.Т. Зацепин и В.А. Кузьмин, чем больше энергия частицы, тем интенсивнее она будет взаимодействовать с реликтовыми фотонами. Согласно их выводам, если суперчастицы рождаются очень далеко — на космологических расстояниях от Земли, — то они попросту до нас не долетят. Иначе говоря, в энергетическом спектре космических лучей на энергиях более 10^{19} эВ ($=1 \text{ джоуль}$) должен наблюдаться довольно резкий спад, получивший название «ГЗК-завал» (по первым буквам фамилий предсказавших его ученых).

Можно предположить, что суперчастицы рождаются где-то в соседних галактиках. Но при начальной энергии 10^{20} эВ частица ►

Взаимодействие космических лучей с атмосферой и история их изучения

Обозначения:

- N — азот
- p — протон
- n — нейтрон
- π^0, π^+, π^- — пи-мезоны
- e⁻ — электрон
- e⁺ — позитрон
- μ^+, μ^- — мюоны
- ν — нейтрино
- γ — фотон

метры
50 000

долгоживущий аэростат NASA (43 000 м), рекордный полет для изучения космических лучей сверхвысоких энергий по проекту CREAM (2005)

40 000

30 000

20 000

15 000

10 000

9 000

8 000

7 000

6 000

5 000

4 000

3 000

2 000

1 000

500

уровень моря

-500

-1 000

-2 000

первичные космические лучи

самолет «Конкорд» (15 000 м) оснащался сигнализацией о превышении космической радиацией уровня 0,5 миллизиверт в час

высотные измерения интенсивности космических лучей (9 000 м), Вернер Колхестер (1914)

Эверест

гора Пайкс-Пик, Колорадо, США (4 301 м), изучение мутаций дрозофил под действием космических лучей (1936)

первые аэростатные измерения космических лучей (5 350 м), Виктор Гесс (1912)



обсерватория Пик-дю-Миди (2 850 м), Франция, открытие пи-мезона в космических лучах (1947)

гора Икенояма (1 368 м), Япония

Эйфелева башня (300 м), открытие космической природы ионизирующего излучения, Теодор Вульф (1910)

нейтринный детектор Супер-Камиоканде (368 м), Япония (1996)

нейтринная обсерватория Антарес — Средиземное море, глубина 2 500 м (строится)

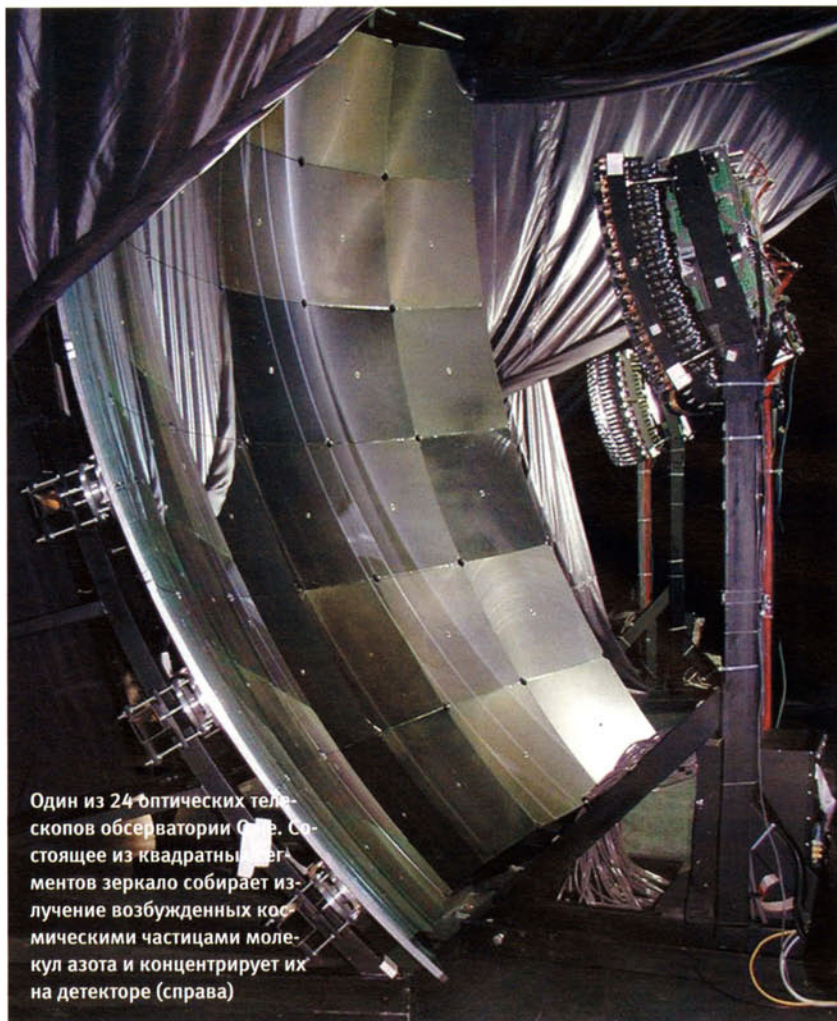
На схеме показано развитие атмосферного ливня, вызванного энергичной космической частицей. Сверхэнергичные частицы порождают гораздо более интенсивные ливни из миллиардов частиц шириной всего десятки или сотни метров

растеряет ее, пролетев всего лишь 20 мегапарсек (65 миллионов световых лет). На таком расстоянии мало галактик, которые могли бы иметь внутри суперускоритель. А раз так, то частицы с энергиями выше 10^{19} — 10^{20} эВ должны были бы приходиться всего лишь с нескольких секторов неба, соответствующих близким источникам. Между тем наблюдения пока не обнаружили таких выделенных направлений.

И хотя на протяжении 1970—1980-х годов строились новые установки для охоты на суперчастицы, ясности не прибавлялось. Для проверки предсказания Грейзена, Зацепина и Кузьмина не хватало статистики и точности измерений. В конце концов, для решения загадки было решено реализовать два крупных проекта — AGASA и HiRes, которые на протяжении последних 10 лет держали научный мир в напряжении.

Эти две установки работали по принципиально различным методам. Японская обсерватория AGASA состояла из 111 сцинтилляционных детекторов, разбросанных на площади около 100 км² на расстоянии примерно 1 километра друг от друга, и 27 мюонных детекторов, закрытых слоем поглощающего вещества.

Как же работает такая установка? Космическая частица, например протон, влетая в атмосферу, начинает активно взаимодействовать с ее атомами, точнее, с их ядрами. В результате порождается огромное количество элементарных частиц общим числом до нескольких миллиардов. Это явление получило название «широких атмосферных ливней» (ШАЛ). Первые указания на существование ШАЛ получил в 1934 году итальянский физик Бруно Росси. Он заметил, что два счетчика Гейгера, находящиеся на расстоянии друг от друга, иногда срабатывали практически одновременно. Однако Росси не смог продолжить исследования в этой области. Поэтому считается, что настоящее открытие ШАЛ было сделано Пьером Оже, который независимо обнаружил этот эффект в 1937 году. Одновременное срабатывание нескольких детекторов на расстоянии порядка 100 метров говорило о том, что пришел целый ливень частиц, вероятно всего, имеющих общее происхождение. Оже сделал правильный вывод, что ливень порождается влетающей в атмосферу частицей высокой энергии. Открытие дало в руки ученых инструмент для изучения космических лучей, которые сами до поверхности Земли не долетают.



Один из 24 оптических телескопов обсерватории Оже. Состоящее из квадратных элементов зеркало собирает излучение возбужденных космическими частицами молекул азота и концентрирует их на детекторе (справа)

Обсерватория Оже способна регистрировать суперчастицы, падающие раз в сто лет на квадратный километр

Среди частиц ливня есть электроны и мюоны, часть из которых добирается до поверхности Земли. Пролетая сквозь прозрачный пластиковый (а иногда — жидкий) детектор, они вызывают в нем вспышки — сцинтилляции. Это излучение можно заметить с помощью фотоумножителей. Используя данные множества детекторов, ученые восстанавливают картину мощного ШАЛ. По этим данным можно вычислить энергию и направление, откуда прилетела первичная частица, — тот самый «посланный неведомых богов», который и стал причиной ШАЛ.

В американском проекте HiRes использовался совсем другой принцип регистрации. Электроны, рождающиеся в ходе развития ШАЛ, возбуждают молекулы азота в атмосфере. Спустя некоторое время атомы возвращаются в исходное состо-

яние, высвечивая полученную энергию в видимом диапазоне спектра. Это свечение называется флуоресценцией. По наблюдениям флуоресценции наземными телескопами рассчитывают энергию исходных частиц. Для большей эффективности в эксперименте HiRes были построены две зеркальные системы на расстоянии 12 километров друг от друга. Наблюдение ливня с двух точек позволяет лучше определить его параметры.

Японская установка закончила сбор данных в 2004 году. На тот момент экспериментаторы достаточно четко заявляли о том, что они не видят ГЗК-завала в спектре космических лучей. Однако американская установка давала другой результат. По ее данным, резкое падение числа частиц с ростом энергии имеет место. Об этом было заявлено в 2006 го-

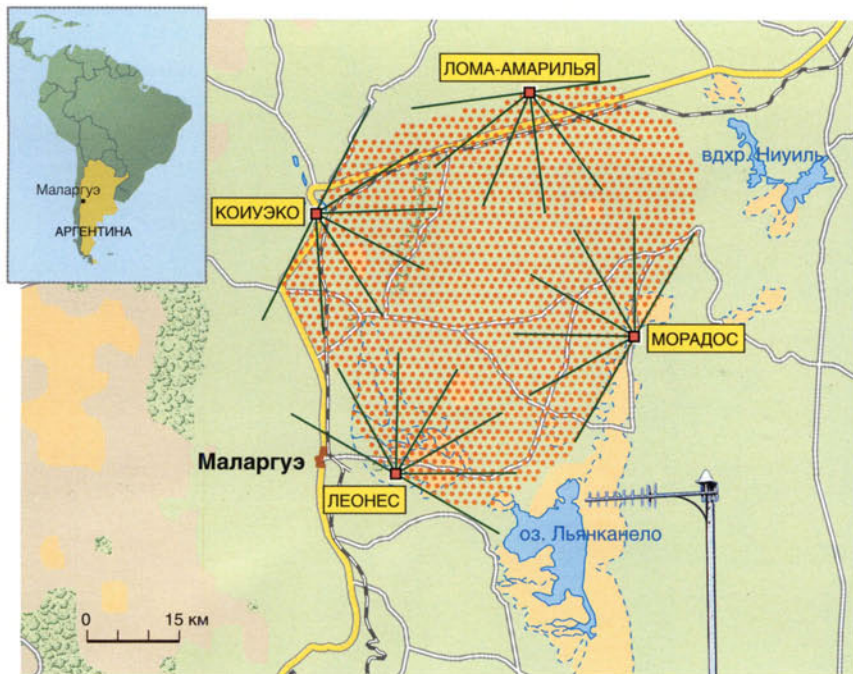
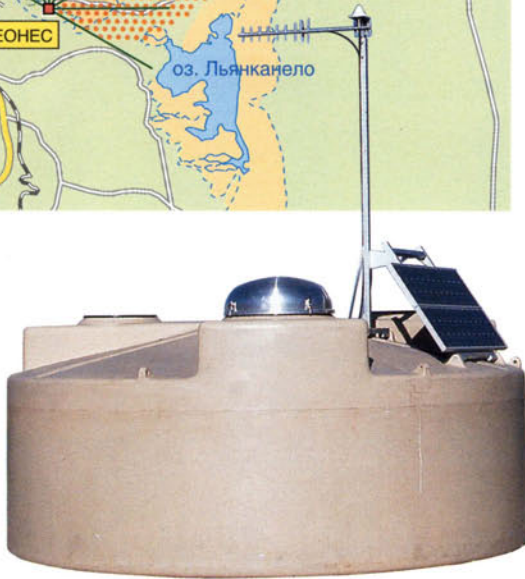


Схема размещения инструментов обсерватории Пьера Оже. Точки — баки с черенковскими датчиками для регистрации достигших поверхности Земли частиц. Линии — сектора обзора 24 оптических телескопов, наблюдающих свечение атмосферы. На каждом баке смонтированы: солнечная батарея (справа), блок электроники (под стальным колпаком), антенны GPS и связи с центром сбора данных



ду, когда закончился сбор данных по проекту HiRes. А недавно ученые, работающие с проектом AGASA, решили пересмотреть свои выводы.

В итоге пришлось констатировать, что AGASA и HiRes не могут дать окончательного ответа на вопрос о том, есть ли ГЗК-завал в распределении частиц по энергиям или его нет. И теперь надежды астрофизиков раскрыть загадку происхождения суперчастиц связаны с новой гигантской обсерваторией в Аргентине.

ГИГАНТ НА ПЛЕЧАХ КАРЛИКОВ

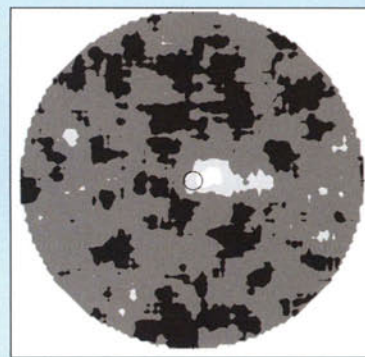
Обсерватория имени Пьера Оже объединяет достоинства AGASA и HiRes, существенно превосходя их по масштабам. На сегодняшний день это единственный проект, который будет способен регулярно детектировать частицы сверхвысоких энергий. В аргентинской прерии будет установлено 1 600 водных черенковских детекторов. Это почти в пятьдесят раз больше числа детекторов в проекте AGASA. Каждый детектор представляет со-

бой бак, содержащий 11 тонн дистиллированной воды. Влетая в воду, частицы ШАЛ начинают испускать так называемое черенковское излучение, впервые описанное в работах советских физиков С.И. Вавилова и П.А. Черенкова. Детекторы разбросаны по площади 3 000 км² на расстоянии около 1,5 километра друг от друга, а небо над ними дополнительно просматривают 24 телескопа, сгруппированных в четыре станции. Каждый из этих телескопов превосходит использовавшиеся в проекте HiRes. Правда, эти телескопы могут вести наблюдения только ясными безлунными ночами, а водные детекторы работают постоянно. В итоге только около 10% частиц удается зафиксировать с помощью двух методов сразу.

Для точного определения координат на небе, откуда прилетела первичная частица, требуется с очень высокой точностью определять моменты регистрации ШАЛ различными детекторами. Для этого все они оснащены устройствами системы▶

ТЕНЬ ЛУНЫ

Мы привыкли к тому, что яркий диск Луны сияет на темном небе. Но так дело обстоит в видимом диапазоне. В других частях электромагнитного спектра картина может быть иной. И уж совсем другая она, если мы ведем регистрацию космических лучей, а не квантов электромагнитного излучения. Луна загромождаёт от нас поток космических лучей, то есть возникает лунная тень. Существование такой тени было предсказано еще в 1957 году, а первые успешные наблюдения проведены в 1991 году коллаборацией CYGNUS. А недавно команда эксперимента L3 (Акард и др. — Achard P. et al.) в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) получила новые, более точные результаты. Представленные на рисунке внизу данные были собраны в 1999—2000 годах, когда в ЦЕРНе еще работал ускоритель LEP и соответственно действовал его детектор. В экспериментах с элементарными частицами приходится отсеивать массу посторонних сигналов в детекторе, в частности вызванных космическими лучами. Авторы обработали данные о 10 миллиардах таких «шумовых» событий, связанных с мюонами космических лучей. На рисунке более светлые места соответствуют дефициту событий. Кружком показано положение Луны. Смещение тени в сторону от истинного положения Луны связано в основном с воздействием земного магнитного поля. Частицы разных знаков смещаются в магнитном поле в противоположные стороны. Если бы в космических лучах доли протонов и антипротонов были равными, то и тень была бы симметричной. Анализ данных позволил авторам установить ограничение на долю антипротонов в космических лучах. Она составляет менее 10%.



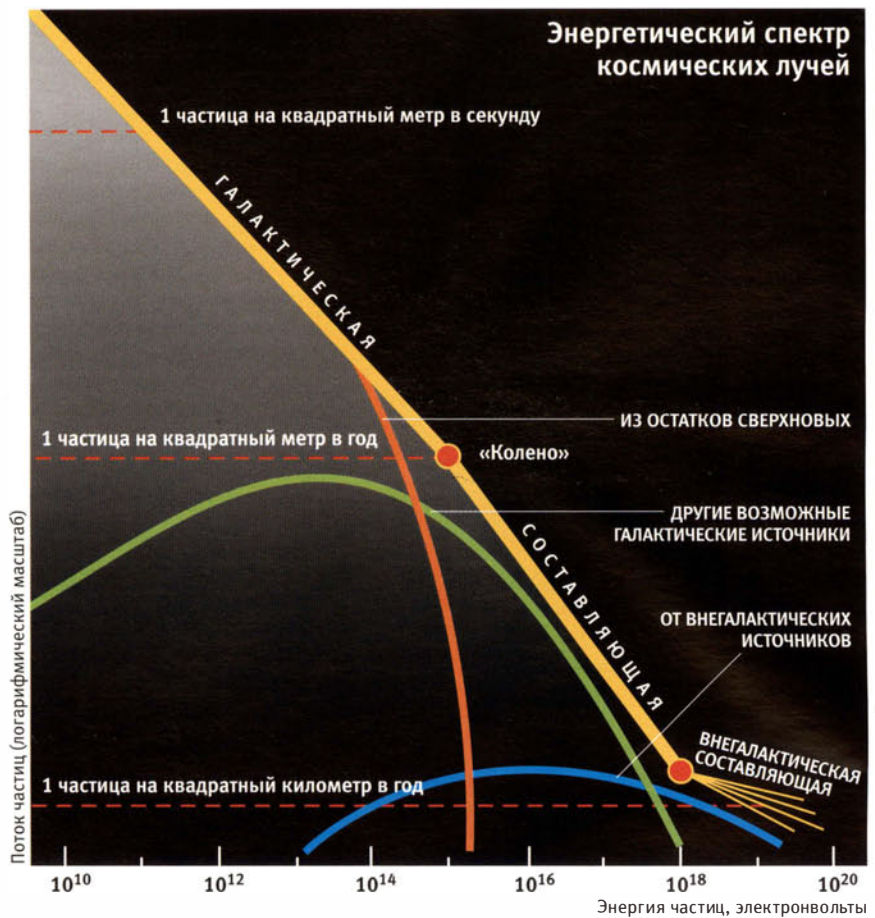
Распределение мюонов с энергией более 100 ГэВ, порожденных в земной атмосфере космическими лучами. Диаметр «поля зрения» детектора — 10 градусов

глобального позиционирования GPS. Эта система помимо координат, которые в данном случае не меняются, способна также передавать и точное время. Оптическая система для наблюдений флуоресценции регулярно проверяется с помощью лазеров, которые помогают контролировать состояние атмосферы, а также могут создавать вспышки с известными параметрами для тестирования наблюдательной системы.

Соединение в одном эксперименте двух подходов — использования наземных детекторов и наблюдения атмосферной флуоресценции — позволяет уменьшить неопределенность при расчете энергии частицы. Надо отметить, что это не первый случай использования гибридного подхода в наблюдениях космических лучей. Подобная установка работает, например, в Якутии. Однако обсерватория Оже гораздо больше и совершеннее. Уже сейчас, когда смонтированы еще не все детекторы, новая обсерватория сравнялась с AGASA и HiRes по объему и точности получаемых данных.

В создании обсерватории участвуют 55 научных организаций из 15 стран. Интересно отметить, что пока установки для регистрации космических лучей, даже такие гигантские, как Оже, не относятся к числу самых дорогих приборов, стоящих на вооружении современной науки. Общая стоимость проекта составляет около 50 миллионов долларов. Дело в том, что наземные детекторы достаточно дешевы, и сделать их даже в большом количестве не так уж трудно. Телескопы для наблюдения флуоресценции также гораздо дешевле своих собратьев типа телескопов Кека или VLT.

Обсерватория Оже в Аргентине — это, возможно, только первая половина всего проекта. Планировалось, что кроме южной обсерватории будет и северная — в США. Ведь чрезвычайно важно наблюдать все небо, а из Пампа-Амарилья (Pampa Amarilla) недоступна северная его часть. Зато там можно наблюдать центр нашей Галактики, который был практически недоступен для AGASA и многих других проектов в Северном полушарии. Это важно, поскольку не исключено, что происхождение космических лучей сверхвысоких энергий связано с нашей Галактикой. Однако более вероятной пока считается внегалактическая версия их происхождения.



Некоторые элементарные частицы в космических лучах сравнимы по энергии с брошенным камнем

ДАЛЕКИЕ БОГИ-УСКОРИТЕЛИ

В Галактике нет объектов, которые могли бы разогнать достаточное число частиц сверхвысоких энергий. И даже если бы они были, магнитное поле нашей звездной системы слишком слабо, чтобы удерживать такие частицы. Значит, если мы ищем супермощные космические ускорители, нам надо обратить свой взор на внегалактические объекты.

Первое, что приходит в голову, — это источники космических гамма-всплесков, взрывы, похожие на вспышки сверхновых, только более мощные. Почему бы им не ускорять частицы? Но, оказывается, такие катаклизмы случаются слишком редко и не могут обеспечить необходимый темп генерации космических лучей. Поэтому в настоящее время астрофизики не возлагают на них больших надежд.

Основное внимание ученых сейчас привлекают ударные волны, связанные со струями вещества (джета-

ми), которые выбрасываются из активных галактических ядер, а также со скоплениями галактик. Именно там возможно ускорение достаточно большого числа частиц до сверхвысоких энергий. Наиболее вероятными местами рождения суперчастиц в активных галактиках являются так называемые горячие пятна, где струя резко тормозится, сталкиваясь с окружающим веществом. Но уверенности в этом пока нет, а имеющиеся наблюдения не дают оснований утверждать, что частицы приходят со стороны известных активных галактик.

В таких обстоятельствах астрофизики начинают задумываться о более экзотических механизмах генерации космических лучей.

ОХОТА НА WIMPZILL'Y

Выше мы бормотали, что частица может родиться сразу «сверхэнергичной». Для этого нужно, чтобы распалась (или аннигилировала)▶

частица с большой массой. И здесь перед физиками открываются интереснейшие возможности: не исключено, что загадка космических лучей окажется связанной с загадкой темной материи. Ученые уже давно пытаются в лабораториях «поймать за бороду» частицы темной материи, но пока это никому не удалось. Причина в том, что эти частицы — если, конечно, они вообще существуют — очень слабо взаимодействуют с веществом. Поэтому их называют WIMP (weakly interacting massive particles), что означает слабо взаимодействующие массивные частицы.

Поскольку они пока не пойманы, об их параметрах можно только строить предположения. В частности, они могут иметь очень большую массу. Для таких монстров было придумано красивое название WIMPzilla. Впервые идею о рождении космических лучей сверхвысоких энергий из-за распада очень массивных частиц рассмотрели в 1997 году В.С. Березинский с соавторами и, независимо, В.А. Кузьмин и В.А. Рубаков. Сам термин WIMPzilla начал активно использоваться примерно с 1998 года в работах Эдварда (Рокки) Колба (E. Kolb) и его соавторов.

Согласно теории относительности масса эквивалентна энергии. Поэтому тяжелая частица может либо просто развалиться на несколько массивных частей, либо породить частицы с небольшой массой покоя, но с очень большой кинетической энергией. Также высокоэнергичные частицы могут образовываться при аннигиляции двух массивных частиц. Правда, согласно теории, распад и аннигиляция в основном должны порождать гамма-кванты, тогда как в космических лучах сверхвысоких энергий, по всей видимости, доминируют не фотоны, а протоны. Но однозначных данных пока нет: проекту Оже понадобится лет пять, чтобы уверенно определить долю фотонов среди высокоэнергичных частиц. Поэтому гипотеза о WIMPzillaх продолжает обсуждаться.

WIMPzilla'ы могут в большом количестве летать в гало (ближайших окрестностях) нашей Галактики. Если окажется, что ГЗК-завала в спектре космических лучей нет, а их распределение по небесной сфере примерно однородное, то именно эта гипотеза происхождения частиц сверхвысоких энергий может стать основной. Ведь источники суперчастиц придется располагать на расстоянии не более нескольких десятков мегапарсек от нас и при этом их должно быть мно-

Лидар — лазерная система зондирования атмосферы. Используется при калибровке оптических телескопов обсерватории Оже для искусственного возбуждения молекул атмосферы



Для сверхэнергичных частиц Вселенная непрозрачна — они «вязнут» в микроволновом фоновом излучении

го. В такой ситуации лучшего места, чем наше родное гало, и придумать нельзя. Но никаких «ускорителей» там быть не может. А вот WIMPzilla'ы — могут. Таким образом, эта гипотеза способна одновременно объяснить и отсутствие ГЗК-завала, и высокую степень изотропии космических лучей — при условии, конечно, что все это будет подтверждено наблюдениями на новой обсерватории имени Пьера Оже.

Более 40 лет ученые ломают голову над загадкой космических лучей сверхвысоких энергий. По современным меркам, это очень большой срок. Строительство обсерватории Оже еще не завершилось, но астрофизики уже думают о новых проектах космического масштаба. Мы упоминали, что чем выше энергия частиц, тем реже они встречаются. Поэтому для поиска все более и более энергичных частиц надо увеличивать площадь установки.

Вспомним, что, по сути, при наблюдениях космических лучей сверхвысоких энергий рабочим телом детектора является сама атмосфера, это особенно очевидно, если вспомнить о наблюдениях флуоресценции. Зеркальные телескопы, установленные на поверхности Земли, могут обозревать максимум несколько десятков километров вокруг себя. А вот если вывести зеркало на орбиту, то можно осматривать сразу целое полушарие. Излучение, вызываемое суперчастицами, достаточно специфично. Поэтому есть надежда научиться эффективно выделять его при таких наблюдениях, хотя это и нелегко: уж очень много всего происходит на целом земном полушарии, начиная от гроз и кончая техногенными вспышками. И все же следующее поколение установок для изучения космических лучей сверхвысоких энергий вполне может само оказаться космическим. ●