

Поймать частицу и понять Вселенную

Исследование **космических лучей** поможет справиться с задачами, которые не под силу даже Большому адронному коллайдеру

■ илья кудряшов

В 2016 году на орбиту должен быть выведен космический аппарат «Ломоносов», разработанный учёными из МГУ. Запуск намечен на 12 апреля, если, конечно, к этому времени будет сдан в эксплуатацию космодром «Восточный». Но уже сейчас за пределами Земли работает комплекс аппаратуры «Нуклон», тоже созданный физиками Московского университета. Целью обеих миссий является изучение космических лучей — понять их природу, можно многое узнать и о Вселенной, и о том, что находится рядом с нами.

Куда утекает заряд

Космические лучи... Возможно, читатель сразу представит себе загадочных странников, прибывших к нам из звёздной бездны, и будет почти прав. Именно этим «почти» учёные-космофизики и занимаются на протяжении уже больше ста лет.

Началось всё в далёком 1785 году, когда французский физик **Шарль Огюстен де Кулон**, исследуя природу электричества с помощью электроскопа, обнаружил, что заряд спонтанно утекает с листов фольги даже при самой лучшей электроизоляции. Причина этого явления оставалась неизвестна больше века, пока в 1879 году **Уильям Крукс** не показал, что скорость утекания заряда падает при понижении давления воздуха в электроскопе. Из этого британский учёный сделал вывод: причина разряда в ионизации воздуха.

Но оставалось непонятным, почему вдруг воздух начинает ионизироваться и продолжает делать это довольно долго. Загадка сохранялась до тех пор, пока на рубеже XIX и XX веков не был открыт феномен радиоактивности. Выяснилось, что электроскоп быстрее разряжается вблизи радиоактивного материала, после чего наконец-то стала ясна сама причина разряда: частицы, испущенные радиоактивным материалом, прошивают сквозь прибор и ионизируют воздух внутри, позволяя заряду стекать с листов.

Вскоре британский физик **Чарлз Вильсон** обнаружил, что заряд стекает с электроскопа даже в отсутствие потенциально радиоактивных предметов. Напрашивался вывод о существовании радиационного фона, источником которого являлись либо Земля, либо атмосфера, либо космос. Чтобы проверить эту гипотезу,

в 1912 году австрийский (тогда ещё) физик **Виктор Гесс** совершил серию полётов на воздушном шаре. Он ожидал, что с высотой скорость стекания заряда понизится, поскольку основным источником радиации считал Землю. К немалому удивлению учёного, результат оказался диаметрально противоположным: чем выше поднимался летательный аппарат, тем быстрее стекал заряд. Оставалось только сделать вывод, что радиация приходит с неба, — Гесс назвал её «высотным излучением».

Проведённая впоследствии множеством исследователей серия экспериментов показала, что высотное излучение не пропадает ни днём, ни ночью, ни даже во время затмения, что этот эффект практически одинаково проявляется на всех континентах (на суше и на море) и не зависит от погоды. Стало ясно, что излучение не высотное, а космическое. Спустя 20 лет Гесс получил Нобелевскую премию, а его исследования послужили фундаментом для развития новой области науки — физики космических лучей. С тех пор учёные далеко продвинулись в исследовании этого явления, но на главные вопросы, поставленные ещё в начале XX века, точного ответа не могут дать до сих пор.

Теннисный мячик диаметром до Юпитера

Что же мы знаем о космических лучах? Современный астрофизик скажет, что космические лучи — это релятивистская бесстолкновительная плазма, или, выражаясь проще, электроны, протоны и ядра тяжёлых элементов, летающие по космосу с околосветовыми скоростями и при этом практически никогда не встречающиеся друг с другом. Больше всего в составе космических лучей протонов (около 94% от общего числа частиц), но попадаются и альфа-частицы (4%), и ядра всех остальных химических элементов из таблицы Менделеева вплоть до урана. Электронов в космических лучах примерно в десять тысяч раз меньше, чем протонов, а позитронов вообще исчезающе мало.

Энергетический спектр космических лучей простирается больше чем на 10 порядков: от 10^{11} до 10^{21} эВ. Для сравнения: пучки протонов в Большом адронном коллайдере разгоняют всего лишь до 10^{13} эВ.

Об авторе текста

Илья Кудряшов Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории детекторных систем и электроники НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына МГУ. Одна из ключевых фигур в космическом эксперименте «Нуклон». Помимо физики Илья увлекается малой авиацией. Из-за своего хобби летом 2015 года стал фигурантом уголовного дела: учёного обвинили в «угоне воздушного судна, принадлежащего ДОСААФ». Как утверждает Илья, самолёт был собран из списанных запчастей, к тому же владельцу за него честно заплатили.



Виктор Франц Гесс (1883–1964). Австро-американский физик, нобелевский лауреат 1936 года за открытие космических лучей (совместно с Карлом Андерсоном).



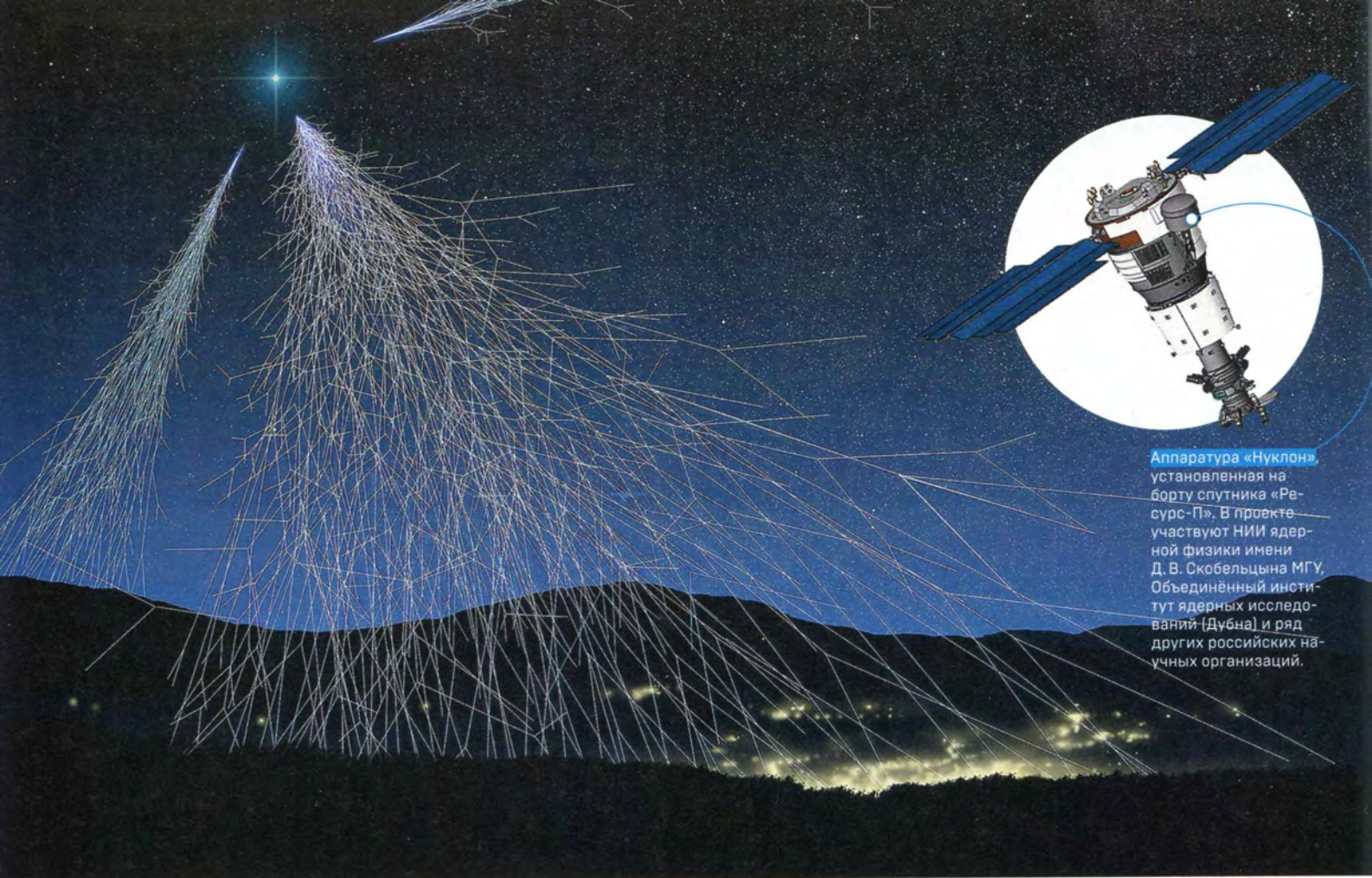
Уильям Крукс (1832–1919). Британский химик и физик. Вошёл в историю как человек, открывший таллий и впервые получивший гелий в лабораторных условиях.



Шарль Огюстен де Кулон (1736–1806). Французский инженер и учёный-физик, исследователь электромагнитных и механических явлений. Его именем названы единица электрического заряда и закон взаимодействия электрических зарядов.



Чарлз Томсон Риз Вильсон (1869–1959). Британский физик. Получил Нобелевскую премию за создание приборов для регистрации следов заряженных частиц («камеры Вильсона»).



Аппаратура «Нуклон» установлена на борту спутника «Ресурс-П». В проекте участвуют НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ, Объединённый институт ядерных исследований (Дубна) и ряд других российских научных организаций.

Чтобы лучше понять, насколько испепеляюще высокой является энергия в 10^{21} эВ, представим, что такую имеет теннисный мячик, летящий со скоростью 70 м/с. Только если протон увеличить до размеров такого мяча, он заполнит собой Солнечную систему почти до орбиты Юпитера.

Разумеется, столь высокие энергии встречаются редко: если нарисовать график зависимости потока частиц от их энергии, мы получим стремительно падающую кривую — настолько стремительно, что за секунду через квадратный сантиметр проходит одна частица с энергией около 10^{11} эВ, а вот со значением выше 10^{20} приходится искать годами с помощью установок площадью в сотни квадратных километров.

Тайна «колена» и «лодыжки»

При таком диапазоне энергий и разной вероятности обнаружения частицы приходится изучать несколькими способами. Химический состав низкоэнергетических космолучей исследуют в ходе прямых экспериментов — на установках, размещённых на стратосферных баллонах и космических аппаратах, а частицы более высоких энергий приходится изучать косвенно, глядя на так называемые широкие атмосферные ливни, возникающие, когда эти частицы взаимодействуют с атмосферой. Сама по себе форма этого спектра уже содержит ряд загадок. На двойном логарифмическом масштабе он представлял бы почти идеальную прямую, если бы не два резких излома, которые физики называют «коленом» и «лодыжкой». После «колена» на отметке 10^{15} эВ спектр

начинает падать ещё быстрее, а у «лодыжки» (10^{19} эВ) становится чуть более пологим. При этом мы до сих пор точно не понимаем, чем обусловлена эта форма. Возможно, «колено» образуется потому, что источники происхождения ускоренных частиц меняются с галактических на внегалактические: нетрудно рассчитать, что галактические магнитные поля не смогут удержать внутри Галактики частицы с энергиями выше некоторого предела. Оказалось, этот предел лежит как раз в области «колена». Причины существования «лодыжки» куда менее понятны.

Возможно, свет на загадку «колена» прольёт проводимый МГУ им. М. В. Ломоносова орбитальный эксперимент «Нуклон», в ходе которого измеряются энергетические спектры различных химических элементов в составе космических лучей. Так физики надеются установить положение «колена» для каждого химического элемента в отдельности.

Обсерватория летит в космос

Согласно современным представлениям, основными источниками космических лучей с энергиями от 10^{12} до 10^{16} эВ являются взрывы сверхновых звёзд. Хотя о возможных механизмах ускорения космолучей в разлетающихся оболочках сверхновых до сих пор идут споры, никакие другие внутригалактические источники не спо-



Георгий Тимофеевич Зацепин (1917–2010).

Российский физик, академик РАН. Автор важных работ по физике космических лучей, мюонов и нейтрино, нейтринной астрофизике.



Вадим Алексеевич Кузьмин (1937–2015). Российский физик, член-корреспондент РАН. Занимался космическими лучами, ранней Вселенной, солнечными нейтрино, квантовой теорией поля.

способны заполнить Галактику наблюдаемым количеством «энергичных» частиц. О частицах же с энергиями выше 10^{16} эВ известно намного меньше: почти наверняка они имеют внегалактическое происхождение и рождаются в самых драматических событиях Вселенной — например, при столкновениях галактик. Иные подробности их биографии пока скрыты от исследователей завесой тайны. Отдельный вопрос — возможность существования космических лучей с энергиями выше 10^{21} эВ. Дело в том, что ещё в 1966 году советские физики **Георгий Зацепин** и **Вадим Кузьмин**, а также — независимо от них — американец **Кеннет Грейзен**

теоретически предсказали, что протоны на этих энергиях должны взаимодействовать с квантами реликтового микроволнового фона, теряя при этом энергию на образование новых частиц — пионов.

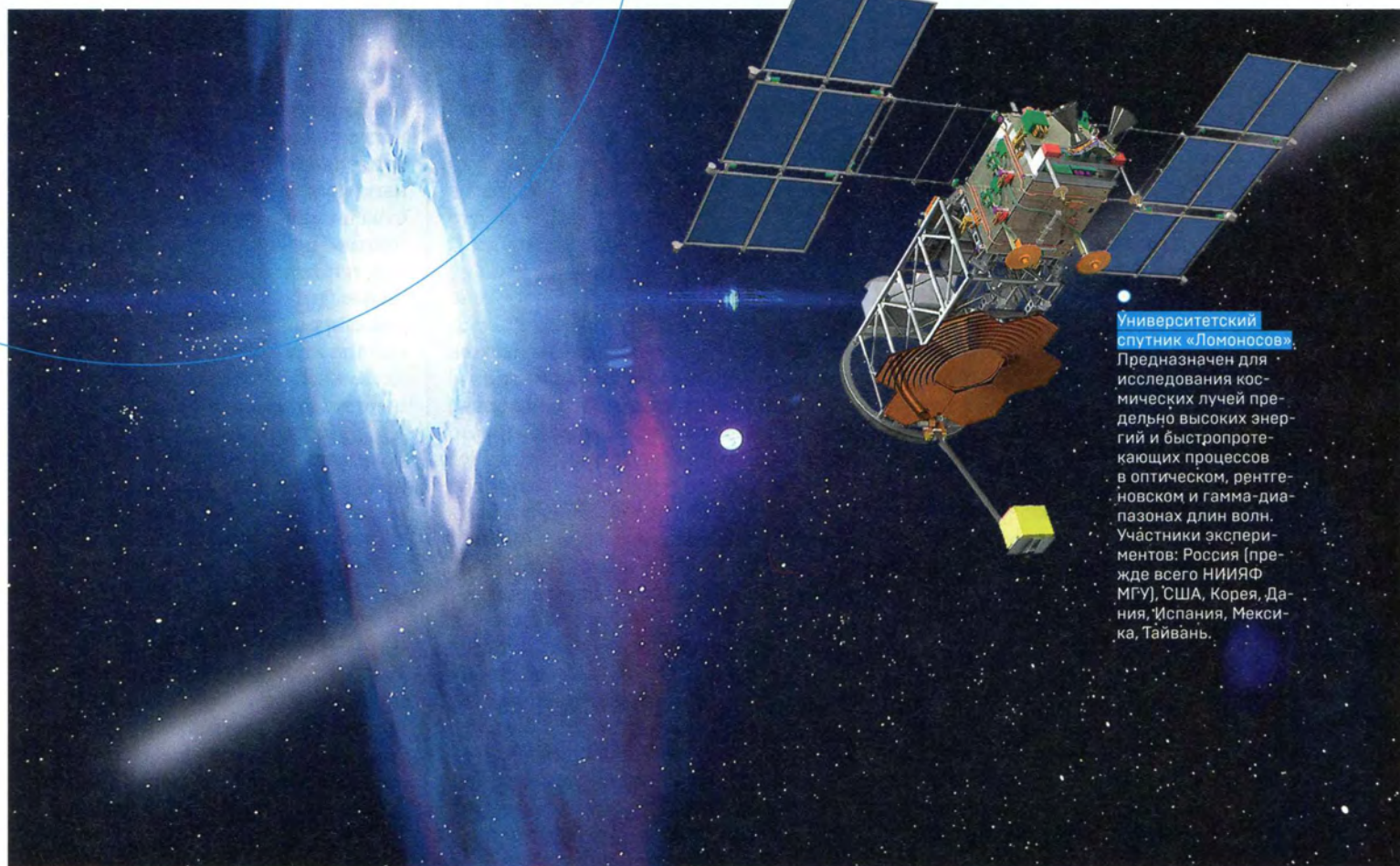
Экспериментальная проверка этой гипотезы имеет фундаментальное значение для современной физики: если выяснится, что мы наблюдаем такие частицы, это будет означать, что их источник находится недалеко от нас (естественно, в космических масштабах), потому что от отдалённых источников такие лучи долетать не должны. Если же окажется, что близкого источника нет, а частицы с такими энергиями есть, это потребует изменения как

минимум всей концепции физики элементарных частиц. Поисками этих высокоэнергетических объектов занимается крупнейшая в мире обсерватория космических лучей имени **Пьера Оже**, расположенная в Южной Америке. Площадь этой обсерватории составляет 3000 квадратных километров!

Но даже этого может оказаться недостаточно для наблюдения за столь редкими событиями, поэтому физики Московского университета и готовят к запуску научный спутник «Ломоносов», одной из главных задач которого будет наблюдение за черенковским свечением в ночной атмосфере Земли, возникающим при прохождении через неё частиц ультравысоких энергий. С точки зрения результатов такой подход практически не уступает применению установок с гораздо большей эффективной площадью. Символично, что запуск спутника «Ломоносов» будет первым для нового российского космодрома «Восточный», — дело в том, что исследования космической радиации начались на первом же научном спутнике, запущенном с космодрома «Байконур». Вся история космонавтики связана с изучением космических лучей, ведь, не понимая их природу, человечество не сможет покинуть свою колыбель, как это завещал Циолковский. 🐾



Пьер Виктор Оже (1899–1993). Французский физик. В 1925 году открыл эффект ионизации атома, находящегося в возбуждённом состоянии (эффект Оже; электроны, вылетающие при этом из атома, называются Оже-электронами). В 1938-м обнаружил в составе космических лучей широкие атмосферные ливни (ливни Оже).



Университетский спутник «Ломоносов». Предназначен для исследования космических лучей предельно высоких энергий и быстропротекающих процессов в оптическом, рентгеновском и гамма-диапазонах длин волн. Участники экспериментов: Россия (прежде всего НИИЯФ МГУ), США, Корея, Дания, Испания, Мексика, Тайвань.