**Схватить фотон за хвост. Исследователи подошли вплотную к разгадке происхождения частиц, рожденных Вселенной...**

**Поиск** - еженедельная газета научного сообщества
Наука № 31-32(2011) от 12.08.2011
Янчилин Василий


Со всех сторон Землю обстреливают космические лучи. При этом энергия некоторых частиц превосходит максимально достижимую на Большом адронном коллайдере в десятки миллионов раз. Где расположены ускорители таких частиц? Существуют ли пределы их мощности? О каких вселенских процессах могут поведать космические лучи? На эти вопросы пытается ответить сотрудник Института ядерных исследований кандидат физико-математических наук Григорий Рубцов, получивший грант Президента РФ на свою работу как победитель конкурса 2011 года по государственной поддержке научных исследований молодых российских ученых.
- Тема гранта, - рассказывает Григорий Игоревич, - астрофизика космических лучей сверхвысоких энергий. Интерес к этому возник давно, когда начали регистрировать очень энергичные частицы, прилетающие из космоса. Они взаимодействуют с атомами атмосферы и порождают каскады вторичных частиц. В результате мы регистрируем так называемый широкий атмосферный ливень, состоящий в основном из мюонов, электронов и фотонов, который вызван всего одной частицей. Ее энергия может достигать 100 миллионов ТэВ, что соответствует двум калориям. Напомню, что энергии протонов в Большом адронном коллайдере достигают “всего” нескольких ТэВ. Сразу же возникает вопрос о составе частиц, вызывающем эти ливни. В качестве основных кандидатов рассматриваются фотоны, нейтрино, протоны, ядра различных химических элементов: железа, углерода, гелия и т.д. Второй важный вопрос: как распределены частицы по энергиям? И наконец, откуда они вылетают, благодаря каким силам ускоряются? Сейчас уже известно, как распределены космические лучи по энергиям. Более того, еще в 1966 году советские астрофизики Георгий Зацепин, Вадим Кузьмин и американский ученый Кеннет Грейзен предсказали, что очень энергичные частицы не смогут пролететь в космосе большое расстояние, так как будут взаимодействовать с реликтовым излучением. Это предсказание удалось подтвердить совсем недавно. Но два других вопроса все еще остаются без ответа. Тем не менее уже ясно, как широкие атмосферные ливни, вызываемые ядрами химических элементов, с одной стороны, и фотонами - с другой, можно отличить друг от друга. В фотонном ливне рождается меньше мюонов. Поэтому мы, используя данные уникальной установки (она находится в селе Октёмцы, в 55 километрах от Якутска), в состав которой входят также и детекторы мюонов, смогли установить ограничение на поток фотонов в космических лучах сверхвысоких энергий - он не превышает 10%. Их присутствие пока не подтверждено, а доля ограничена. Проще говоря, фотоны не являются основной составной частью, но могут быть вспомогательной. То есть, как правило, космические лучи - это либо протоны, либо ядра химических элементов.
- А нельзя ли вынести детектор за пределы земной атмосферы и непосредственно определить, что за энергичные частицы прилетают из космоса?
- Дело в том, что частицы сверхвысокой энергии очень редки. В среднем на квадратном километре поверхности регистрируется только одно событие в год. Поэтому современные детекторы занимают территорию сотни квадратных километров. И такие сооружения невозможно вынести в космос.
- Как работает детектор?
- На высоте нескольких десятков километров энергичная космическая частица взаимодействует с ядром атмосферного азота или кислорода. В результате рождаются частицы с меньшей энергией, которые, также взаимодействуя с атомами, порождают вторичные потоки и т.д. В конце концов появляются сотни миллиардов частиц, “поражающих” площадь в несколько квадратных километров. Примерно на каждом квадратном километре расположен один маленький детектор размером два-три квадратных метра, который “видит” только часть этого ливня. Обработав информацию, полученную от каждой такой ячейки, можно получить довольно полное представление обо всем ливне и о высшей точке, из которой он стал развиваться. Существуют детекторы другого типа - флуоресцентные. Они регистрируют электромагнитное излучение, порождаемое ливнем частиц в атмосфере. А в якутской установке есть также приборы для регистрации мюонов. Это обычные детекторы, но находящиеся на глубине двух метров под землей. Все частицы кроме мюонов застревают в грунте, поэтому подземный детектор регистрирует только их. Сравнивая показания наземных и подземных детекторов, можно узнать, сколько мюонов содержалось в ливне частиц. Если, скажем, ливень был вызван фотоном, то в нем будет относительно мало мюонов, а если протоном или ядром химического элемента, то, наоборот, много. Одна из задач моего проекта - найти фотоны сверхвысоких энергий либо установить ограничение на их поток. Почему мы надеемся найти фотоны? В процессе Грейзена - Зацепина - Кузьмина, о котором я уже говорил, должны рождаться пи-мезоны, в том числе и нейтральные. Последние распадаются на фотоны. Расчеты показывают, что среди космических частиц с энергией 10 миллионов ТэВ должно быть около 1% фотонов. Фотоны интересны тем, что могут нести “потерянную” информацию. Мы ведь не знаем максимальную энергию, с которой рождаются космические лучи, потому что они ее быстро теряют, взаимодействуя с реликтовым излучением. Но появившиеся при таком взаимодействии фотоны могут кое-что “рассказать” о породивших их космических лучах. Кроме того, фотоны не отклоняются магнитными полями и, следовательно, позволяют определить направление на источник. Поэтому все самые мощные атмосферные ливни частиц тщательно исследуются. Но пока нет ни одного строгого подтверждения, что какой-нибудь из них был порожден фотоном. Поэтому сейчас мы определяем только верхнее ограничение на поток космических фотонов сверхвысоких энергий. Постепенно это ограничение опускается все ниже и ниже. И уже в ближайшее время мы планируем установить точную величину фотонного “хвостика”. Это позволит частично восстановить предысторию космических лучей и рассчитать их максимальную энергию. Ведь мы не знаем, были или нет космические лучи еще более высоких энергий, чем те, что мы регистрируем. Но если они были, то породили фотоны, которые должны достигнуть Земли. Поэтому очень важно знать, сколько таких фотонов сверхвысокой энергии присутствует в космических лучах. Мой проект ориентирован на поиск необычных явлений, можно сказать, новой физики, в том числе и на проверку различных экзотических моделей. Например, существуют гипотезы, что источником космических лучей сверхвысокой энергии служат массивные частицы темной материи. Однако при их распаде должно рождаться очень много фотонов, что уже не соответствует наблюдаемым данным. Стоит отметить, что процесс Грейзена - Зацепина - Кузьмина - наиболее энергичный из всех известных в природе. Но напрямую он все еще не подтвержден. Пока мы только наблюдаем предсказанное им “обрезание” космических лучей в области сверхвысоких энергий, но нужно еще обнаружить и фотоны, которые рождаются при таком процессе. И с этим обнаружением связан другой аспект проекта - проверка теории относительности. Ведь процесс Грейзена - Зацепина - Кузьмина дает возможность проверить ее при таких высоких скоростях, которые больше нигде не достижимы. Сейчас одно из ключевых направлений физики - создание квантовой гравитации. И большинство таких моделей предсказывают отклонения от теории относительности. Здесь важно, что мы можем все это проверить экспериментально. И наконец, последний важный аспект проекта - поиск нейтрино сверхвысоких энергий. Уникальность нейтрино в том, что оно способно пролететь всю Вселенную от края до края и долететь до Земли с гигантской энергией, не потеряв ее по дороге, как это делают другие частицы. Но вероятность взаимодействия нейтрино с атомами атмосферы очень мала - в миллионы раз меньше, чем, скажем, у протона.
- Как вы узнаете, что ливень частиц породило именно нейтрино?
- Космические частицы взаимодействуют с земной атмо­сферой, влетая в нее под разными углами. Чем ближе этот угол к горизонту, тем толще слой атмосферы приходится преодолевать. Ни протоны, ни другие ядра не могут пролететь такое расстояние. На это способно только нейтрино. Поэтому наша задача - найти косые атмосферные ливни. Ведь они почти наверняка будут вызваны нейтрино. Но пока ни одного нейтрино или фотона не зарегистрировано. Тем не менее данные, поступающие с детекторов космических лучей сверхвысоких энергий, позволят решить проблему фотонов уже в ближайшее время. Сейчас мы вплотную приблизились к тому, чтобы зарегистрировать маленький “хвостик” сверхэнергичных фотонов, если, конечно, он есть. В этом случае мы получим информацию о еще более энергичных частицах, которые никогда не долетали до Земли. Если же вдруг окажется, что фотонный “хвостик” не существует или слишком мал, то это будет еще более интересный результат, свидетельствующий о новой физике.

Беседовал Василий ЯНЧИЛИН

Фото Андрея СЕЛИДОВКИНА