

## Забросили НЕВОД: как в МИФИ ловят космические ливни



60 лет назад в МИФИ открылась лаборатория для изучения околоразрывного потока мюонов космических лучей. С тех пор исследования в этой области шагнули далеко вперед, и сегодня в лаборатории решают «мюонную загадку», которую старая физика объяснить не в состоянии. Помогают ученым тончайшие детекторы экспериментального комплекса «НЕВОД». Что же им ловят?

### Тайны Вселенной

«Почему интересно регистрировать космическое излучение высоких энергий? Есть два основных аспекта,— рассказывает доцент отделения ядерной физики и технологий НИЯУ «МИФИ», инженер-исследователь НОЦ «НЕВОД» Семен Хохлов.— Первый — космофизический. Пока мы не разберемся с источниками космических лучей, мы не сможем понять физических основ Вселенной, процессов в недрах нейтронных звезд, активных ядрах галактик и в других массивных объектах. Второй аспект — энергетический. Мы до сих пор не понимаем, как космические лучи ускоряются».

Заряд космических частиц — порядка  $10^7$  ТэВ. Это в миллионы раз больше, чем на Большом адронном коллайдере — он разгоняет частицы только до 8 ТэВ. Изучение таких высокоэнергетических частиц на земных ускорителях попросту невозможно, подчеркивает Семен Хохлов.

## Детекторы для энергичных частиц

Частицы космических лучей достигают окрестностей нашей планеты и в верхних слоях атмосферы соударяются с ядрами азота и кислорода. В результате рождается множество вторичных частиц — пионов и каонов, каждая из которых, пролетев еще немного, встречается с другими ядрами азота и кислорода. Столкновения повторяются, и от одной частицы рождаются миллионы других. Такие каскады называют широкими атмосферными ливнями.

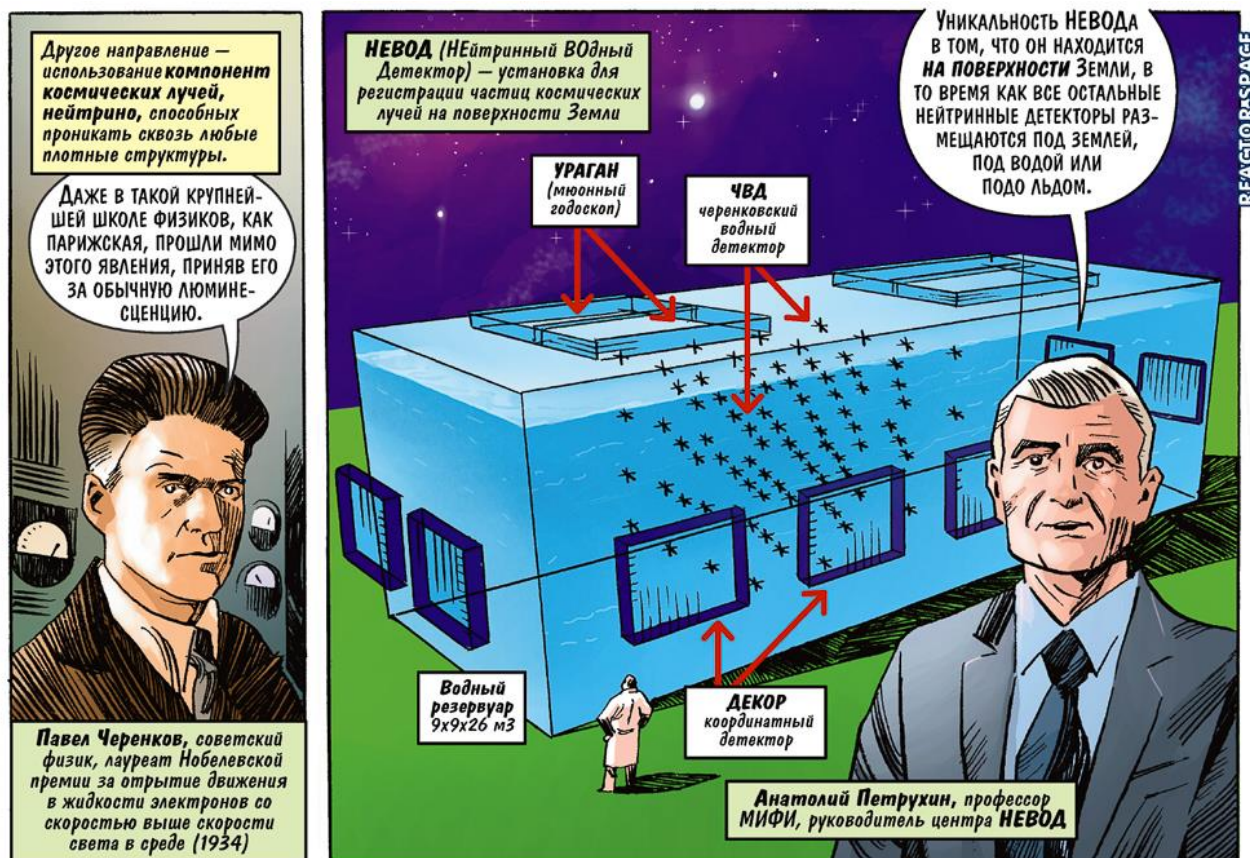
В процессе формирования и развития ливней часть пионов и каонов распадается, образуются мюоны, которые слабо взаимодействуют с атмосферой и доходят до Земли. По количеству, составу и энергиям вторичных частиц в широком атмосферном ливне можно понять, какой была первичная частица и какую она имела энергию. В МИФИ разработан собственный, уникальный метод исследования, основанный на измерениях мюонной компоненты на комплексе «НЕВОД-ДЕКОР».

Комплекс начал работу в 1994 году. Тогда он состоял из черенковского водного детектора объемом 2 тыс. м<sup>3</sup>. Это первый в мире детектор на поверхности Земли, предназначенный для исследования основных компонентов космических лучей, в том числе нейтрино.

Фокус интереса ученых МИФИ направлен на мюоны, которые движутся горизонтально: они мостик к частицам первичных космических лучей более высоких энергий. Такие мюоны могут проходить в атмосфере до 600 км. Детекторы НЕВОДа достигают только самые энергичные из них.

Черенковский водный детектор позволяет оценивать энергию частиц, поэтому его часто называют калориметром. Позже ЧВД окружили координатно-трековым детектором «ДЕКОР». Это российско-итальянская установка из восьми модулей, которые с высокой точностью регистрируют углы и координаты движения частиц.

На крышке бассейна ЧВД располагаются датчики установки регистрации широких атмосферных ливней «ПРИЗМА». На крышах корпусов МИФИ размещены блоки детекторов установки «НЕВОД-ШАЛ», которая охватывает площадь 1 га, и установки «УРАН», которая регистрирует электронно-фотонную и нейтронную компоненты ливня.



## Мюонная загадка

В 2002 году на комплексе «НЕВОД-ДЕКОР» началось исследование групп мюонов. Через несколько лет стало ясно, что экспериментальные данные по количеству наблюдаемых групп мюонов противоречат всем существовавшим на тот момент моделям ядро-ядерных взаимодействий.

«Благодаря нашим техническим возможностям мы и сделали главное открытие — сформулировали «мюонную загадку», — рассказывает Семен Хохлов. — Атмосферу под большими зенитными углами могут пройти только группы мюонов. Протоны и фотоны успевают поглотиться. Предсказания на таком субатомном уровне делаются исключительно по сложным физическим моделям или программам. Мы взяли все известные программы и выяснили, что они предсказывают, что мюонов должно быть на 30% меньше, чем регистрируют наши детекторы. В 2008 году, когда мы этот результат объявили, нам не поверили. Но потом данные подтвердились в обсерватории Пьера Оже в Аргентине и на детекторах Ice Cube в Антарктиде. На сегодняшний день пять независимых экспериментов привели к тем же результатам. Огромное количество внеплановых мюонов может объясняться либо наличием неких пока неизвестных частиц в космическом излучении, либо появлением особого состояния материи при прохождении



ливня через земную атмосферу. Это уже заявка на проявление новой физики, за пределами Стандартной модели».

### На службе новой физике

ДЕКОР площадью 70 м<sup>2</sup> перекрывает только часть черенковского водного калориметра. Для регистрации максимального числа мюонов необходимо перекрыть детекторами все 2000 м<sup>2</sup> бассейна. В Институте физики высоких энергий (входит в НИЦ «Курчатовский институт») освободились дрейфовые камеры, которые хорошо себя показали при регистрации космических лучей. Так у НЕВОДа появилась возможность собрать новый детектор — ТРЕК.

Помимо размера у ТРЕКа еще одно преимущество — более острое «зрение». ДЕКОР не в состоянии различить мюоны, проходящие ближе, чем в 3 см друг от друга. У ТРЕКа этот показатель — 3 мм. Полностью собрать ТРЕК планируется в конце 2023 года. Первые эксперименты — в 2024 году. «Мы получим детектор существенно большей точности, что позволит вплотную подойти к решению «мюонной загадки», — уверен Семен Хохлов.

---

### СПРАВКА

Космические лучи (космическое излучение) — частицы, заполняющие межзвездное пространство и постоянно бомбардирующие Землю. Хотя в состав космических лучей входят и нейтральные частицы (особенно много фотонов и нейтрино), космическими лучами обычно называют именно заряженные: позитрон, мюон, пион и др. Мюоны — это нестабильные элементарные частицы, которые имеют отрицательный заряд и спин  $\frac{1}{2}$ . Продолжительность их жизни по сравнению с другими элементарными частицами относительно велика — 2,2 мкс.

Источник : газета Страна РОСАТОМ <https://strana-rosatom.ru/2022/11/17/zabrosili-nevod-kak-v-mifi-lovyat-kosmi/>