

МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В СПЕКТРЕ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ И В АМПЛИТУДНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ИОНИЗАЦИОННЫХ ТОЛЧКОВ

¹А.П. Андреева, ^{1,2}В.Е. Тимофеев

SMALL-SCALE FEATURES IN THE EXTENSIVE ATMOSPHERIC SHOWER SPECTRUM AND IN THE AMPLITUDE DISTRIBUTION OF IONIZATION JERKS

¹A.P. Andreeva, ^{1,2}V.E. Timofeev

За последние несколько десятилетий зарегистрировано много ливней Якутской комплексной установкой широких атмосферных ливней (ЯКУ ШАЛ). К этому следует добавить более 59 125 ионизационных толчков, зарегистрированных камерой АСК-1 (Якутск). В таком уникальном материале проявляются очень редкие события, обусловленные возможным проявлением влияния темной материи Вселенной. Они выражаются в том, что некоторые ливни ШАЛ и большие ионизационные толчки имеют радикальные отличия по пространственно-временным характеристикам от параметров фоновых ливней. В прошлом веке из-за их редкого проявления и отсутствия достаточной статистики такие особенности всегда оставались незамеченными. К настоящему времени накоплен достаточно большой объем событий (сотни и тысячи единиц) из массивов экспериментальных значений, позволяющий провести предварительный анализ этих событий.

Over the past few decades a great number of showers was registered by the Yakutsk EAS (Extensive atmospheric shower) array. More than 59 125 ionization jerks registered with the ASK-1 chamber (Yakutsk) should be added to them. In this unique set of data very rare events caused by a possible manifestation of influence of the Universe dark matter of the are manifested. It means that some EAS showers and large ionization jerks have radical differences by spatial and temporal characteristics from background shower parameters. In the last century, due to their rare manifestation and the lack of sufficient statistics such features always remained unnoticed. By the present time a sufficiently large amount of events has been accumulated (hundreds and thousands of units) from the extended sets of experimental values which allow us to conduct a preliminary analysis of these events.

Поиск новых пространственно-временных особенностей в спектре ШАЛ

На рис. 1 в зависимости от числа станций за период 1995–2002 гг. приведены измерения ЯКУ ШАЛ, обработанные только с учетом числа детекторов (в обработке не учитывается число частиц). Таким приемом наиболее просто можно обнаружить мелкомасштабные особенности в данных ШАЛ (см. верхнюю сплошную линию). Пунктиром показан монотонный спектр космических лучей (КЛ) от числа детекторов, полученный интерполяцией по минимальным отклонениям. Пороговое значение регистрации WIMP-частиц (weakly interacting massive particle) по числу станций установки ЯКУ ШАЛ соответствует одновременной регистрации ливня примерно четырьмя станциями. Следует заметить, что при правке и чистке данных ШАЛ переставлять импульсы, отдавая предпочтения их большой или малой мощности, в другие места шкалы по числу станций нельзя. Этот запрет обусловлен тем, что WIMP-частицы образуются около первых моментов Большого взрыва в пространстве и во времени в определенном порядке. Сначала образуются более массивные частицы и лишь затем WIMP-частицы с меньшими массами (возможно, и наоборот). И этот процесс в основном образует пространственно-временное распределение по массам WIMP-частиц в нашу эпоху, радикально отличающееся от спектра высокоэнергичных КЛ. Оно показано на рис. 1 в виде особенностей *a–e*. При их перестановке эффект от проявления WIMP-частиц в данных ШАЛ будет полностью утерян. Минимальный порог для их регистрации установкой ЯКУ ШАЛ оценивается из следующих соображений. Средняя скорость WIMP-частиц приблизительно равна 270 км/с, т. е. они не являются релятивистскими. При взаимодействии с веществом атмосферы они образуют большое коли-

чество вторичных частиц с релятивистскими скоростями. В основном γ -кванты энергий порядка гигаэлектронвольт, которые образуют электронно-фотонные мини-ливни, выходящие из точки взаимодействия с равной вероятностью в верхнюю и нижнюю полусферы. Ливень может быть зарегистрирован установкой только при срабатывании трех соседних станций, что может осуществиться при условии, когда в нижнюю полусферу попадают некоторые части трех и более мини-ливней. Этим и определяется выбор минимального порога для регистрации WIMP-частиц с охватом в четыре станции (отмечено первой стрелкой на рис. 1).

Если, согласно работе [Timofeev, 2009], мелкомасштабные особенности могут образовываться WIMP-частицами, то особенности *d, e*, предположительно, образованы WIMPZILLA-частицами. На рисунке плотной вертикальной стрелкой отмечена граница разделения пространственно-временных свойств обычных WIMP-частиц и WIMPZILLA-частиц. Это условное разделение введено по признаку большей эффективности регистрации, и оно попадает на особенность *c*. Черными кружками ориентировочно отме-



Рис. 1. Зависимость среднего числа ливней за год от числа детекторов охваченных ливнем.

чено положение интервалов между особенностями. В среднем величина разности в дискретности для установки ЯКУ ШАЛ составляет приблизительно площадь с охватом в девять станций. Из последних двух особенностей можно заключить, что WIMPZILLA-частицы имеют большее сечение, чем обычные WIMP-частицы, так как имеют большую аппаратную интенсивность, чем соседние всплески, т. е. большую вероятность регистрации. Эти особенности не могут образоваться под действием КЛ.

Видно яркое проявление дискретности между особенностями. Для получения зависимости среднего числа случаев регистрации пространственно-временных особенностей за год из числа станций, участвовавших в их регистрации, будем выбирать ливни, которые отличаются от фона КЛ. Такая зависимость определяется вычитанием от наблюдаемой зависимости (сплошная линия) фона КЛ (пунктир). Фон КЛ определялся интерполяционным полиномом Лагранжа по минимальным точкам экспериментальной зависимости КЛ от среднего числа станций (без учета частиц) в каждом ливне в предположении, что фоновая зависимость КЛ должна быть монотонной. Перед применением полинома Лагранжа все экспериментальные координаты представляются в логарифмическом масштабе. После подбора интерполяционного полинома все переводится в обычный масштаб, в котором строится фон КЛ. Особенности *a* и *b* как разность между экспериментальной зависимостью от числа станций в ливне и фоном выделим отдельно в линейном масштабе (рис. 2).

Предварительную модель для обработки данных ШАЛ с целью определения интенсивности проявления первых двух особенностей построим в виде системы операций несколькими шагами.

Первый шаг

Из данных рис. 2, сравнительно легко вычислить аппаратную скорость счета ЯКУ ШАЛ. Она вычисляется из отношения площади особенности и среднего времени экспонирования *T*.

$$N_0(W\text{-частиц/с}) = (\sum(d(N_0)/dk)\Delta k)/T.$$

В правой части выражение в скобках – площадь, равная полному числу частиц за время экспонирования *T*. Площадь (полное число зарегистрированных частиц в среднем за один год) для особенности *a* равна 2363 ± 250 частиц. Для особенности *b* она составляет 59 ± 20 частиц.

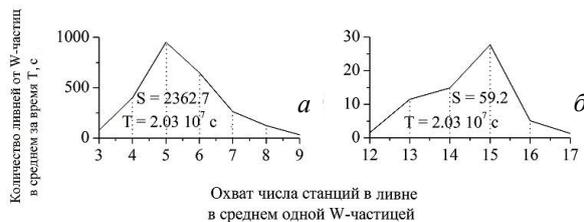


Рис. 2. Дифференциальное число случаев в особенностях *a* и *b* в зависимости от числа станций *k* в среднем за год. Вертикальные пунктирные линии приведены для вычисления площади, охватываемой средним *W*-ливнем.

Среднее время экспонирования ЯКУ ШАЛ 1995–2002 гг. за год равно $T=2.03 \cdot 10^7$ с. На рис. 2 представлены среднегодовые значения. Для особенностей *a* и *b* за этот период аппаратная скорость счета (предположительно WIMP-частиц) в особенностях *a* и *b* будет равна $1.16 \cdot 10^{-4} \pm 1.2 \cdot 10^{-5}$ событий/с и $2.92 \cdot 10^{-6} \pm 9.9 \cdot 10^{-7}$ событий/с соответственно.

Второй шаг

Определим значение глобального аппаратного потока I_0 (считая особенности как регистрацию частиц) через единичную площадку в 1 см^2 . Площадь ЯКУ ШАЛ равна $G=10 \text{ км}^2$ или 10^{11} см^2 . Следовательно $I_0 = (\sum(dN_0/dk)\Delta k)/GT$ частиц/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$).

Этот поток, обусловленный особенностями *a* и *b*, равен $1.16 \cdot 10^{-15} \pm 1.2 \cdot 10^{-16}$ и $2.92 \cdot 10^{-17} \pm 9.9 \cdot 10^{-18}$ частиц/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$). Видно, что шаг по числу частиц просто огромный – два порядка, т. е. частицы распределены дискретно и с большим шагом.

Следует заметить, что ЯКУ ШАЛ имеет большой порог начала регистрации частиц КЛ (более 10^{14} эВ). По-видимому, это и определяет небольшое число зарегистрированных особенностей *a–e*. Кроме того, если будет обнаружено, что мелкомасштабные пространственно-временные особенности проявляются дискретно на установках с меньшими порогами, то появляются основания для поиска новых частиц, имеющих дискретный спектр по энергиям (или по массам) с большим шагом. Ожидается, что такое распределение может быть еще одним новым реликтовым эффектом, образованным Большим взрывом (БВ).

Итак, в данных ЯКУ ШАЛ ярко проявляется дискретность в пространственно-временном распределении в дифференциальной интенсивности с шагом изменения интенсивности между особенностями *a* и *b* с кратностью приблизительно в 20–40 раз на один дискретный шаг (см. рис. 1). Это позволяет, хотя и приближенно, определять соседние неоднородности за пределами начального значения очень большого порога регистрации ЯКУ ШАЛ. Считается, что за 2–3 шага кратность существенно не изменится. Тогда, если достаточна небольшая точность, можно приблизиться к ожидаемому среднему естественному порогу возможной регистрации WIMP-частиц ≈ 100 ГэВ, который определен теоретически в работах [Тимофеев, 2009; Роуен-Робинсон, 2008; Горбунов, 2007; Смольников, 2004; Смольников, 2001] подбором кратности шага.

Выводы

В результате детального статистического анализа уникального массива данных большой установки ЯКУ ШАЛ и по большим ионизационным толчкам, зарегистрированным примерно за пятьдесят лет непрерывных наблюдений ионизационной камерой АСК-1 (Якутск), были получены амплитудные распределения, которые имеют ряд необычных свойств. В частности, обнаружены особенности – пики, или «всплески» в дифференциальном распределении ливней ШАЛ и ионизационных толчков большой амплитуды. Экспериментально наблюдаемые ионизационные толчки большой амплитуды распределе-

ны дискретно и не поддаются стандартному объяснению на основе обычного ядерно-мюонного каскада от протонов первичных КЛ высокой энергии. Форма и интенсивность такого «отклика» в данных таких установок указывают на то, что присчет к фону от КЛ (в виде очень редких событий) может быть обусловлен WIMP-частицами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Горбунов Д.С, Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. М: Изд-во ЛКИ, 2007. С. 457.
Роуен-Робинсон М. Космология. М.: Ижевск, 2008. С. 237.

Смольников А.А. Темная материя во Вселенной. «Академия Тринитаризма», М., Эл. 31.03.2004. № 77-6567. публ.11103.

Смольников А.А. Темная материя во Вселенной // Природа. 2001. № 7. С. 1–19.

Akerib D.S., Attisha M.J., Beiley C.N., et al. // Phys. Rev. Lett. 2006. V. 96. P. 011302.

Timofeev V.E., Miroshnichenko L.I., Skryabin N.G. IAU 27th General Assembly. August 03–14, 2009. Rio de Janeiro, Brazil. Abstract Book. 2009. P. 222.

¹*Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия*

²*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова, Якутск, Россия*