

Аннотация

1. *Авторы:* В. М. Лозников, Н. С. Ерохин, Н. Н. Зольникова, Л. А. Михайловская
2. *Название:* Серфотронный Ускоритель в Местном Межзвездном Облаке
3. *Ссылки на публикацию:* Статья принята в печать и будет опубликована в журнале «Физика плазмы». 2017. Т.43. № 1.
4. *Общая формулировка научной проблемы и её актуальность.*

Последнее поколение детекторов космических лучей (КЛ) (детекторы, запускаемые на аэростатах, на спутниках, и огромные наземные установки) значительно улучшило чувствительность и энергетическое разрешение, что позволило зарегистрировать переменные особенности в спектрах КЛ. Однако, традиционный механизм генерации КЛ не может объяснить особенности в спектрах КЛ и их наблюдаемую переменность.

В традиционном механизме ускорение КЛ происходит посредством многократного отражения заряженных частиц от ударной волны (DSA механизм) в остатках вспышек сверхновых звёзд (СН). Для приобретения большой энергии $\sim 10^{13}$ эВ требуется время ~ 1000 лет. Существующие в настоящий момент СН находятся на больших расстояниях (>100 пк) от Земли. Поэтому все возможные особенности спектра КЛ при диффузионном распространении от остатков СН в Галактике к Земле должны сглаживаться.

Для объяснения особенностей спектра КЛ в рамках DSA механизма предлагается гипотеза о существовании (пока ненаблюдаемых) частиц тёмной материи.

Чтобы объяснить генерацию КЛ вплоть до энергии “колена” в энергетическом спектре (ЭС), Bell предложил гипотезу, суть которой в том, что флуктуации магнитного поля δB в филаментах в остатках СН могут быть нереально огромными, т.е. $\delta B \approx 100 \cdot B$. Тогда DSA механизм позволит генерировать КЛ до энергии “колена” $\sim 10^{15}$ эВ. Ряд учёных поддерживает эту гипотезу за неимением лучшего.

Очевидно, что для объяснения совокупности экспериментальных данных требуется радикальный пересмотр механизма генерации КЛ.

5. *Конкретная решаемая в работе задача и её значение.*

В нашей работе предлагается решение проблемы существования особенностей спектра КЛ и их переменности. Особенность нашей работы в том, что мы используем данные экспериментов близкие по времени проведения. Объясняется появление излома в спектрах ядер водорода **H** и гелия **He**, а также появление широкого “квазипика” с максимумом в области энергии $E/Z \sim 10^5$ ГэВ. Мы используем известные астрофизические данные о структуре магнитного поля на периферии Солнечной системы и о структуре и динамике ближайших к Солнцу межзвёздных облаков (МО). В качестве механизма генерации КЛ мы используем **серфотронный механизм ускорения** заряженных частиц, что позволяет решить проблемы существования особенностей в спектрах КЛ и их переменности.

6. *Используемый подход, его новизна и оригинальность.*

В качестве механизма генерации КЛ мы используем **серфотронный механизм ускорения (СМУЗЧ)** заряженных частиц, впервые применённый для решения задачи ускорения КЛ в 1989 г. Ерохиным Н.С., Моисеевым С.С., Сагдеевым Р.З. Для работы этого механизма ускорения КЛ необходимо наличие почти однородного (по величине и направлению)

магнитного поля, существования квазипродольных плазменных волн (КППВ) (которые могут захватывать, удерживать, и ускорять заряженные частицы при движении поперёк магнитного поля), и наличие черенковского резонанса.

Для поиска нужных нам областей с однородным магнитным полем мы использовали новейшие данные, полученные на космических аппаратах Voyager 1-2, Hubble, IBEX.

Первую подходящую область с однородным магнитным полем мы нашли на периферии Солнечной системы, за ударной волной Солнечного ветра (TS). Источником КППВ для этой области являются Солнечные вспышки. Размеры этой области (~ 100 AU) и величина магнитного поля позволяют ускорять заряженные частицы до энергии $< 10^{12}$ эВ за время одного прохода < 1 суток. Поскольку эта область находится на расстоянии ~ 100 AU от Земли, то время диффузии этих КЛ до Земли порядка нескольких недель, и можно ожидать такую же быструю переменность в диапазоне энергий $< 10^{12}$ эВ.

Вторая подходящая область с однородным магнитным полем находится в ближайших межзвёздных облаках (МО), местном МО (LIC) и G-облаке (с размерами ~ 1 пс). Солнечная система находится в LIC, вблизи границы сталкивающихся LIC- и G-облаков, примерно в середине межзвёздного пузыря, размером ~ 100 пс. Источником КППВ для этой области является столкновение LIC- и G-облаков. Размеры этой области и величина магнитного поля позволяют ускорять заряженные частицы до энергии $E/Z \approx 3 \cdot 10^{15}$ эВ. Земля фактически находится внутри этой области ускорения. Исходя из размера облака (~ 1 пс) можно ожидать переменности потока КЛ для энергий меньших энергии “колена” порядка нескольких лет.

При ускорении посредством серфотронного механизма формируется степенной спектр с индексом наклона $\sim > 2$ и с обрезанием на энергии $E(\text{ПэВ})/Z \approx L(\text{пс}) \cdot V(\mu\text{Гс})$, которая определяется циклотронным радиусом $L(\text{пс})$ и магнитным полем $V(\mu\text{Гс})$.

Поскольку в рассматриваемом случае видны в спектре два широких “квази-пика”, то естественно попытаться их описать двумя источниками. Для описания наблюдаемых спектров p и He в КЛ предложена трехкомпонентная феноменологическая модель. Первая компонента соответствует постоянному степенному фону. Вторая компонента соответствует “мягкому” степенному источнику на периферии гелиосферы с обрезанием на энергии < 1 ТэВ. Третья компонента соответствует “жесткому” источнику в LIC с обрезанием на энергии $E/Z \sim 10^5$ ГэВ. Оказалось, что эта модель очень хорошо описывает экспериментальные данные.

7. Полученные результаты и их значимость.

Вместо традиционной модели DSA ускорения КЛ на ударных волнах в остатках SN мы предложили для объяснения совокупности экспериментальных данных использовать **серфотронный механизм ускорения (СМУ) заряженных частиц и нашли подходящие области для работы серфотронного ускорителей.**

Наше открытие естественным образом объясняет появление особенностей в спектрах КЛ и переменность спектров. Более того, оказывается, что в близких серфотронных источниках генерируется значительная доля полного потока КЛ.

Использование модели СМУ в астрофизике КЛ существенно изменяет совокупность научных представлений об механизме ускорения КЛ в Галактике.