

Аннигиляция электронов на бранах и теории высокоэнергетического спектра космических лучей

Басов Л.И. группа Б22-102
Научный руководитель: Рубин С.Г.

27 декабря 2024 г.

Введение

- ▶ Космические лучи - высокоэнергетичные частицы, которые проникают в атмосферу Земли.
- ▶ Высокоэнергетический спектр космических лучей не может быть объяснен стандартными моделями.

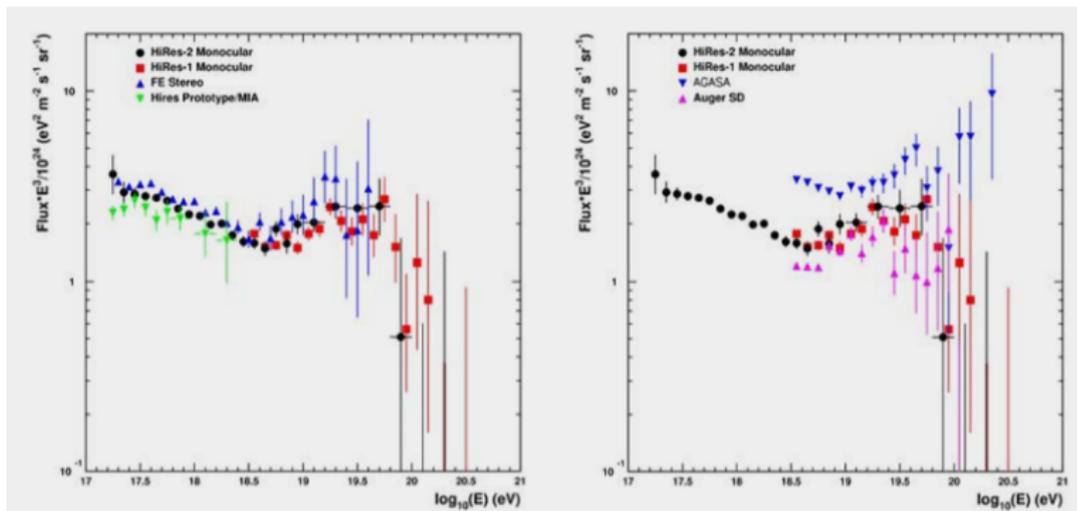


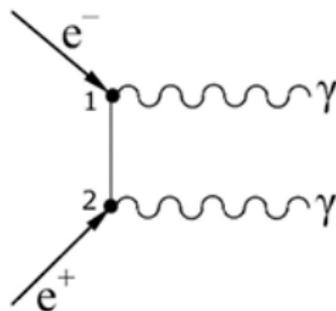
Рис.: Экспериментальные данные различных экспериментов

Теории, объясняющие спектр космических лучей

- ▶ **Космические струны и дефекты.** В рамках теорий, включающих топологические дефекты (например, космические струны, монополи), высокоэнергетические космические лучи могут быть результатом аннигиляции или распада этих объектов, возникших в ранней Вселенной.
- ▶ **Теория бран и дополнительных измерений.** В рамках этих теорий высокоэнергетические космические лучи могут быть объяснены взаимодействием с другими измерениями или бранами, например, гипотезой с тяжелыми частицами, аннигилирующими на соседних бранах.
- ▶ **Квazarы, блазары.** Высокоэнергетические космические лучи могут приходить из-за пределов Млечного Пути. Эти объекты обладают экстремальными условиями для ускорения частиц, включая сильные магнитные поля и огромные выбросы энергии.

Аннигиляция электронов на бранах

- ▶ Браны - это трехмерные объекты, которые могут находится в пространстве с большим количеством измерений. Четырехмерное пространство ограничено браной внутри многомерного пространства, также известного как «гиперпространство».
- ▶ Взаимодействие между электронами и позитронами на других бранах может привести к их аннигиляции, в результате чего образуются высокоэнергетические частицы, которые проходят через барьер между бранами и попадают в нашу Вселенную.



Масса тяжелых электронов

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma \quad (\text{Двухфотонная аннигиляция}) \quad (1)$$

$$E_\gamma \approx m_e c^2 \quad (2)$$

В данном случае, мы ищем массу тяжелых электронов при условии, что энергия фотонов у нас равна или превышает $5 * 10^{19}$ эВ.

$$m_e = 5 * 10^{10} \text{ ГэВ} \quad (3)$$

Это масса тяжелых электронов, необходимая для испускания фотонов с энергией, превышающей предел ГЗК при аннигиляции. Далее было исследовано полное сечение рассеяния аннигиляции и обнаружена его зависимость от массы.

$$\sigma_{\text{ann}}(E) \sim \frac{1}{m^2} \quad - \text{Зависимость полного сечения от массы} \quad (4)$$

Заключение

- ▶ Изучение множества различных теорий, объясняющих высокую энергию космических лучей, показало, что это серьезная проблема, решение которой пока не найдено.
- ▶ В данной работе рассмотрена теория аннигиляции электронов на бранах, и найдена необходимая масса тяжелых электронов для объяснения высокой энергии испускаемых фотонов.
- ▶ Для подтверждения этой теории необходимы дальнейшие исследования и расчеты.

References

-  Arkadiy A. Popov, Sergey G. Rubin, *Spontaneous branes formation*, arXiv:2408.14692 [gr-qc], 26 Aug 2024.
-  R. U. Abbasi, M. Abe, T. Abu-Zayyad, M. Allen, R. Anderson et al., *Indications of intermediate-scale anisotropy of cosmic rays with energy greater than 57 EeV in the northern sky measured with the surface detector of the Telescope Array experiment*, The Astrophysical Journal Letters, **790**, L21 (2014), DOI: 10.1088/2041-8205/790/2/L21.
-  Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, В. Б. Берестецкий, Л. П. Питаевский, *Квантовая электродинамика*, 3-е изд., испр., М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989.