

ЭФФЕКТ ПОМЕРАНЧУКА И МАКСИМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

Б.М.Кужевский

Для галактических магнитных полей, $H = 3 + 10 \cdot 10^{-6}$ э [1], условие применимости формул для торможения излучением [2] электронов выполняется вплоть до величин

$$\frac{E}{mc^2} = 10^{25} + 10^{26},$$

где E и m — полная энергия и масса электрона.

Поскольку для ультрарелятивистской частицы сила торможения излучением пропорциональна квадрату энергии, то, рассматривая потери энергии только за счет этого явления, получаем, как показал Померанчук, что после прохождения расстояния S конечная энергия при $E_0 \rightarrow \infty$ не зависит от начальной энергии электрона E_0 и равняется

$$E_S = \left\{ \frac{2}{3} \frac{e^4}{m^4 c^8} \int_{S_1}^{S_2} H_{\perp}^2(S) dS \right\}^{-1} = \frac{3}{2} \frac{m^4 c^8}{e^4 S \bar{H}_{\perp}^2} \text{ эв}; \quad (1)$$

здесь \bar{H}_{\perp} — перпендикулярная к вектору скорости частицы средняя напряженность поля в Галактике.

Независимо от того, ускорены ли электроны до больших энергий в каком-то источнике или образовались в результате ядерных взаимодействий в межзвездной среде, среднее расстояние, которое проходят электроны, регистрируемые в какой-либо точке пространства, можно принять равным $S = 3 + 5 \cdot 10^{22}$ см — радиусу объема, в котором находятся космические лучи [1].

Подставляя в (1) значения $\bar{H}_{\perp} = H$ и S , как принято выше, получим, что максимальная энергия космических электронов не может превышать величины

$$E_S = 1,6 \cdot 10^{12} + 2,8 \cdot 10^{13} \text{ эв}. \quad (2)$$

Если принять, что перпендикулярная к вектору скорости частицы компонента напряженности поля в Галактике не превышает 10^{-6} э, то для $S \sim 10^{22}$ см

$$E_S = 8 \cdot 10^{14} \text{ эв}. \quad (3)$$

Заметим, что в данном случае не учитываются все другие возможные потери. Из [1], однако, следует, что при $E \geq 10^{12}$ эв, $H = 10^{-6}$ э, концентрации межзвездного газа $n = 10^{-2}$ см $^{-3}$ и энергии фотонов $\epsilon = 1$ эв комптоновскими, радиационными и ионизационными потерями электрона можно пренебречь по сравнению с потерями, рассмотренными выше. Существование изотропного излучения Вселенной с $\epsilon \sim 10^{-4}$ эв [3] приводит к тому, что комптоновскими потерями нельзя пренебречь вплоть до энергий электронов $E \sim 10^{15}$ эв, тем не менее, это не влияет на сделанный выше вывод о максимальной энергии электрона.

Мы принимали, что ускорение электрона при его движении в межзвездной среде не эффективно, что является в настоящее время, по-видимому, общепринятой точкой зрения (см., однако, [4]).

Все рассмотренное выше прямо переносится и на позитроны. Хотя для позитронов будет иметь место аннигиляция, вероятность этого процесса для условий Галактики при $E_0 \geq 10^{12}$ эв ничтожна.

Таким образом, максимальная энергия электронов и позитронов в Галактике, по-видимому, не превышает значения (3).

Институт ядерной физики
Московского государственного
университета

Поступило в редакцию
15 декабря 1967 г.

Литература

- [1] В.Л.Гинзбург, С.И.Сыроватский. Происхождение космических лучей, Изд. АН СССР, 1963.
- [2] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля, Физматгиз, 1962.
- [3] P.G.Roll, D.T.Wilkinson. Phys. Rev. Lett., 16, 405, 1966.
- [4] C.J.Bland, C.Dilworth, L.Scarsi, G.Sironi. Space Res., 6, 106, 1966.