

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

МАЙ, 1978

ВЫПУСК 2

УДК 523.165

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В РАСШИРЯЮЩИХСЯ ОБЛАСТЯХ ГАЛАКТИКИ

Во всех моделях распространения космических лучей в Галактике считается, что ядра космических лучей теряют энергию в основном за счет ядерных взаимодействий с межзвездным газом [1, 2]. При вычислении потерь принимается простейшая модель межзвездной среды. Предполагается, что межзвездная среда состоит из однородно и изотропно распределенного в пространстве газа, который находится в стационарном состоянии.

В действительности в Галактике существует большое количество довольно протяженных областей (остатков сверхновых звезд, областей пониженного водорода, звездных ветров), в которых газ радиально расширяется и в которых имеются неоднородности магнитного поля [3, 4]. Распространяясь внутри этих областей, космические лучи теряют энергию в результате рассеяния на радиально расходящихся неоднородностях магнитного поля [5]. В данной работе показано, что потери энергии космических лучей в этих областях Галактики по величине сравнимы с потерями энергии за счет ядерных взаимодействий космических лучей с межзвездным газом.

Потери энергии для одной релятивистской частицы с энергией E , которая распространяется в области радиусом r , расширяющейся со скоростью v , определяются выражением [5]

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_0 = -\frac{v}{r} E. \quad (1)$$

Общие потери энергии для всех частиц космических лучей во всех расширяющихся областях Галактики будут определяться как сумма потерь энергии частиц в каждой расширяющейся области Галактики.

В каждом отдельном типе расширяющихся областей (остатках сверхновых звезд, областях Н II, звездных ветрах) частицы теряют энергию

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_k = -M_k \frac{\bar{v}_k}{r_k} \bar{V}_k n(E) E, \quad (2)$$

где k обозначает тип областей, M_k — количество областей в данном типе, \bar{v}_k , \bar{r}_k , \bar{V}_k — соответственно средние значения скорости расширения, радиуса и объема для области данного типа, $n(E)$ — плотность частиц космических лучей (предполагается, что распределение космических лучей в Галактике однородно и изотропно [1, 2]).

Для сферически-симметричных областей $\bar{V}_k = \frac{4}{3} \pi \bar{r}_k^3$, поэтому уравнение (2) можно записать в виде

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_k = -\frac{4}{3} \pi \omega M_k \bar{v}_k \bar{r}_k^2, \quad (3)$$

где $\omega = n(E) E$ — плотность энергии космических лучей в Галактике. Общие потери энергии космических лучей во всех расширяющихся областях Галактики равны

$$\frac{dE}{dt} = \sum_k \left(\frac{dE}{dt}\right)_k = -\sum_k \frac{4}{3} \pi \omega M_k \bar{v}_k \bar{r}_k^2. \quad (4)$$

Здесь суммирование ведется по всем типам областей.

Таблица 1

Тип области	M_k	\bar{v}_k (см·сек ⁻¹)	\bar{r}_k (см)	$-\frac{dE}{dt}$ (эрг·сек ⁻¹)
Н II — О	10^4	$2 \cdot 10^6$	10^{20}	$1 \cdot 10^{39}$
Н II — В	10^5	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{19}$	$6 \cdot 10^{38}$
Остатки сверхновых	10^4	$2 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^{19}$	$1 \cdot 10^{39}$
Звездные ветры	10^{11}	$4 \cdot 10^7$	$1.5 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{37}$

В табл. 1 приведены результаты вычислений потерь энергии космических лучей согласно формуле (3). Значения M_k , \bar{v}_k , \bar{r}_k для областей Н II—О и Н II—В (областей ионизованного водорода, связанных соответственно со звездами спектральных классов О и В), для звездных ветров типа солнечного и для сверхновых звезд взяты из работ [4, 6, 7]. Величина $\omega \approx 10^{-12}$ эрг·сек⁻¹ [1, 2].

Как видно из таблицы, общие потери энергии космических лучей в расширяющихся областях $dE/dt \approx 3 \cdot 10^{39}$ эрг·сек⁻¹. Это значение сравнимо с величиной потерь за счет ядерных взаимодействий [1]

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{\text{яд.}} \approx 3 \cdot 10^{38} + 3 \cdot 10^{39} \text{ эрг} \cdot \text{сек}^{-1}.$$

Поэтому общие потери энергии космических лучей в Галактике будут определяться как потерями за счет ядерных взаимодействий, так и потерями в расширяющихся областях, т. е.

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{\text{общ.}} = \left(\frac{dE}{dt}\right)_{\text{яд.}} + \frac{dE}{dt}.$$

Это необходимо учитывать при построении моделей распространения космических лучей в Галактике.

The Loss of Energy of Cosmic Rays in the Expanding Areas of Galaxy. The total loss of energy of cosmic rays in expanded areas of Galaxy $dE/dt \approx 3 \cdot 10^{39}$ energ·sec⁻¹. This value may be compared with the value of energy loss of cosmic rays due to the nuclear interactions with interstellar gas.

29 ноября 1977

Институт геофизики
АН УССР

В. Г. КРИВДИК

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский, Происхождение космических лучей. АН СССР, М., 1963.
2. В. Л. Гинзбург, В. С. Птускин, УФН, 117, 585, 1975.
3. Космическая газодинамика, под ред. Х. Дж. Хабинга, Мир, М., 1972.
4. В. В. Соболев, Курс теоретической астрофизики, Наука, М., 1975.
5. В. Л. Гинзбург, С. Б. Пикельнер, И. С. Шкловский, Астрон. ж., 32, 503, 1955.
6. Дж. К. Брандт, Солнечный ветер, Мир, М., 1973.
7. L. Woltjer, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 10, 129, 1972.