

РАДИОАКТИВНЫЕ ЯДРА В СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Б.М.Кужевский

В настоящей заметке мы хотим обратить внимание на возможность существования интересного явления в солнечных космических лучах.

По существующим представлениям (см. [1,2]), генерация космических лучей на Солнце происходит во время хромосферной вспышки, при этом до выхода частиц в межпланетную среду они проходят в солнечной атмосфере путь $\ell = 10^9$ см со средней концентрацией водорода $n_H = 3 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Поток радиоактивных ядер, типа i в интервале энергий $(E'_1; E'_2)$, образующихся в результате столкновения ускоренных частиц с водородом солнечной атмосферы, легко подсчитать по формуле:

$$F_i(E'_1, E'_2) = n_H \int_{E_1}^{E_2} F_i(E) \sigma(E) dE = n_H \overline{\sigma(E)} F_i(E_1, E_2), \quad (1)$$

где $\sigma(E)$ – сечение данной реакции, $F_i(E_1, E_2)$ – поток ядер типа i в энергетическом интервале (E_1, E_2) . Здесь мы воспользовались тем обстоятельством, что путь, проходимый частицей в атмосфере Солнца, равен толщине области вспышки независимо от энергии частиц [2].

Ниже не будет рассматриваться образование всех возможных радиоактивных ядер, а указывается только два случая, когда поток определенных ядер будет представлен, в основном, их радиоактивным изотопом.

Согласно [3], сечение образования изотопа Be^7 из углерода по реакции $\text{C}^{12}(p, x)\text{Be}^7$ достигает максимума в 20 мбн для энергии протона 40 Мэв и очень медленно спадает с увеличением энергии, так что даже для энергии протона 377 Мэв сечение равно ~ 11 мбн. Из кинематических соображений ясно, что энергия на нуклон у образующихся ядер Be^7 будет заключаться в том же интервале, что и для ядер C^{12} .

Поэтому, беря усредненное сечение $\overline{\sigma(E)} = 10$ мбн, из (1) получим для ядер углерода с энергией от 40 до 400 Мэв/нуклон

$$\frac{F_{\text{Be}^7}}{F_{\text{Be}^9}} = \frac{F_{\text{Be}^7}}{F_{\text{C}^{12}}} \frac{F_{\text{C}^{12}}}{F_{\text{Be}^9}} = 3 \cdot 10^{-4} \frac{F_{\text{C}^{12}}}{F_{\text{Be}^9}}. \quad (2)$$

Анализ состава солнечных космических лучей [4] в интервале 120–204 Мэв/нуклон, приводит к выводу, что он хорошо соответствует химическому составу атмосферы Солнца. Если данный вывод можно распространить на весь рассматриваемый интервал энергий ядер углерода, то (2) запишется так:

$$\frac{F_{\text{Be}^7}}{F_{\text{Be}^9}} = 3 \cdot 10^{-4} \frac{n_{\text{C}^{12}}}{n_{\text{Be}^9}} = 7 \cdot 10^2,$$

где $n_{\text{C}^{12}}, n_{\text{Be}^9}$ – концентрация этих ядер на Солнце [5].

Таким образом, поток ядер Be^7 в интервале энергий 40–400 Мэв/нуклон должен во много раз превышать поток ядер Be^9 , а вместе с этим поток ядер Be^7 будет не меньше потока легких ядер солнечных космических лучей, поскольку потоки различных ядер группы L, по крайней мере, не превысят поток ядер Be^9 (последнее следует из их распространенности на Солнце), а вероятность образования легких ядер такая же, как образование Be^7 . Надо отметить, что даже если концентрацию водорода в области вспышки уменьшить на два порядка, поток Be^7 окажется не меньше потока ядер L-группы.

Поскольку в настоящее время нет данных о потоке ядер L-группы в солнечных космических лучах, интересно привести оценку возможного потока ядер Be^7 по формуле (1). Для интервала 120–204 Мэв/нуклон он составит $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$.

Возможность превышения потока радиоактивного изотопа над стабильным может осуществиться и для ядер кобальта. Сечение реакции $\text{Fe}^{56}(p, n)\text{Co}^{56}$ имеет острый максимум при энергии протона ~ 10 Мэв ($\sigma = 400$ мбн), затем при энергии 30 Мэв $\sigma = 20$ мбн и дальше – медленное уменьшение до значения $\sigma = 3$ мбн при энергии протона равной 400 Мэв [6,7]. При движении ускоренных ядер железа через солнечную

атмосферу за счет указанной реакции будут образовываться ядра кобальта с такой же энергией на нуклон; при этом из таких же соображений как и для Be^7 следует, что $F_{Co^{56}} / F_{Co^{59}} > 1$ для области 5 – 30 $Мэв/нуклон$. Для энергии 30–400 $Мэв/нуклон$ поток радиоактивного кобальта составит несколько процентов от потока стабильного изотопа.

Следует отметить, что экспериментальное исследование потока радиоактивных изотопов принесет новые сведения о параметрах области генерации космических частиц на Солнце (таких как n_H и ϵ). Период полураспада рассмотренных ядер достаточно большой (для бериллия – 53,6 дня, для кобальта – 77,3 дня), чтобы они могли наблюдаться на орбите Земли.

Научно-исследовательский
институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им.М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
19 августа 1967 г.

Литература

- [1] К.де Ягер. Строение и динамика атмосферы Солнца. Изд-во ИЛ, М., 1962.
- [2] J.E.Dolan, G.G.Fazio. Rev. Geophysics, 3, 319, 1965.
- [3] I.R.Williams, C.B.Fulmer. Phys. Rev., 154, 1005, 1967.
- [4] S.Biswas, C.E.Fichtel, D.E.Guss. J.Geophys. Res., 71, 4071, 1966.
- [5] Л.Аллер. Распространенность химических элементов. Изд-во ИЛ, М., 1963.
- [6] K.Bearpark, W.R.Graham, G.Jones. Nucl. Phys., 73, 206, 1965.
- [7] W.J.Treytl, A.A.Caretto. Phys. Rev., 146, 836, 1966.