

Г. Т. ЗАЩЕПИН

## О ФОТОРАСЩЕПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, ПРОИСХОДЯЩЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 23 VII 1951)

При высокой энергии атомных ядер космического излучения благодаря эффекту Доплера возможно фоторасщепление этих ядер фотонами солнечного излучения.

Если в системе координат земли ядро обладает энергией  $E = \gamma Mc^2$  ( $M$  — масса ядра), а фотон — энергией  $h\nu$ , то в той системе координат, где ядро покоится, энергия фотона  $h\nu_{\alpha}$  есть:

$$h\nu_{\alpha} = (\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1} \cos \alpha) h\nu \cong \gamma h\nu (1 + \cos \alpha),$$

если через  $\pi - \alpha$  обозначить угол между направлением движения ядра и фотона в системе земли.

Средняя энергия фотонов солнечного излучения соответствует величине порядка 3 эв, а ядерный фотоэффект начинается (и обладает наибольшим эффективным сечением) при энергии фотонов порядка  $10^7$  эв, т. е. он может наблюдаться при энергии ядер атомов, соответствующей  $\gamma \cong 3 \cdot 10^6$ .

Полагая собственную энергию ядер  $Mc^2 \cong 10^{10}$  эв, получаем, что фоторасщепление будет происходить при энергии атомных ядер порядка  $3 \cdot 10^{16}$  эв.

Вероятность фоторасщепления ядра до его попадания в атмосферу земли может быть записана в виде  $W = N\sigma$ , где  $N$  — число фотонов, которое встретит на своем пути площадка в  $1 \text{ см}^2$ , движущаяся вместе с ядром, нормаль которой в системе координат ядра совпадает с направлением движения фотонов, а  $\sigma$  — эффективное сечение ядерного фотоэффекта.

Вычислим  $N$  для ядра, попадающего на землю с противоположной солнцу стороны ( $\alpha = 0$ ). Если через  $\rho_0$  обозначить число фотонов, содержащихся в  $1 \text{ см}^3$  на расстоянии  $R_0$  от солнца ( $R_0$  — расстояние земли от солнца), то на произвольном расстоянии  $r$  от солнца:

$$\rho = \rho_0 \frac{R_0^2}{r^2}.$$

$\rho_0$  вычисляется из солнечной постоянной  $k$  и средней энергии фотона  $h\nu$ :

$$\rho_0 = \frac{k}{h\nu c} = 10^9 \text{ фотонов} \cdot \text{см}^{-3}.$$

Отсюда находим, что искомое  $N$  имеет величину:

$$N = 2 \int_{R_0}^{\infty} \rho_0 R_0^2 \frac{dr}{r^2} = 2\rho_0 R_0 \cong 3 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-2}.$$

При эффективном сечении ядерного фотоэффекта  $\sigma = 3 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$  получаем, что вероятность фоторасщепления ядра до его попадания на землю

$$W = 10^{-4}.$$

Расстояние  $l$ , на которое расходятся ядро и выбитый нуклон до попадания в земную атмосферу, можно оценить величиной

$$l = \frac{\beta}{\gamma} L_{\text{эфф}},$$

где  $\beta$  — скорость выбитого нуклона в системе координат ядра, а  $L_{\text{эфф}}$  — эффективное расстояние от земли, на котором происходят акты фоторасщепления.

Скорость вырванного нуклона при его кинетической энергии порядка 1 Мэв будет:

$$\beta = \sqrt{\frac{2E}{mc^2}} \approx \frac{1}{20}.$$

Принимая  $L_{\text{эфф}} = R_0$ , получаем  $l \approx 2,5 \text{ км}$ .

Полученные оценки позволяют предположить, что описанный эффект может быть обнаружен. Действительно, при энергии  $E = 10^{16} \text{ эв}$  частицы создают в атмосфере широкие ливни.

Как указал еще в 1947 г. Д. В. Скобельцын, совпадения, наблюдаемые при двух регистрирующих ливни устройствах, расположенных на расстоянии 1000 м одно от другого, могут быть вызваны либо частицей гигантской энергии, если в ливне имеется лишь один ствол, либо частицей, обладающей значительно меньшей энергией, если в ливне возникнет два ствола, расходящиеся на соответствующее расстояние.

Именно с такого рода процессом двух коррелированных ливней со стволами, расходящимися на расстояние порядка 1 км, мы должны столкнуться при ядерном фотоэффекте на солнечных лучах.

Число совпадений, вызываемое двумя коррелированными ливнями, может стать сравнимым с эффектом от ливней, образуемых нерасщепленными ядрами, если необходимая для регистрации энергия  $E_1$  ливня, образованного одной частицей, будет много больше, чем энергия  $E_{\text{мин}}$  ядер, подвергающихся фоторасщеплению. При энергетическом спектре первичных частиц типа  $N(>E) \sim \frac{1}{E^2}$  и вероятности фоторасщепления  $W \approx 10^{-4}$  изложенные обстоятельства будут выполняться при  $E_1 \approx 100 E_{\text{мин}} \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ эв}$ .

Наблюдение ливней с помощью двух систем, удаленных одна от другой на 600—1000 м, проводилось в памирских экспедициях, причем в 1947 и 1949 гг. одновременно с боковыми системами имелось регистрирующее устройство и в центре. Эти наблюдения показали, что часть зарегистрированных совпадений не сопровождается ливнем заметной плотности в центре. Можно предположить, что наблюдаемый эффект объясняется описанным в настоящей заметке процессом.

Механизм образования коррелированных ливней благодаря фоторасщеплению отличается от возможных иных механизмов тем, что в определенных условиях должен наблюдаться суточный эффект.

Необходимо отметить, что эффект образования электронных пар, несмотря на большее эффективное сечение, повидимому, практически не наблюдаем.

Автор выражает благодарность акад. Д. В. Скобельцыну и проф. И. М. Франку за ряд ценных замечаний.

Поступило  
18 VII 1951