

## ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫЕ КАСКАДЫ В АТМОСФЕРЕ ПРИ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

В. П. Кулаковская, Д. Д. Красильников,

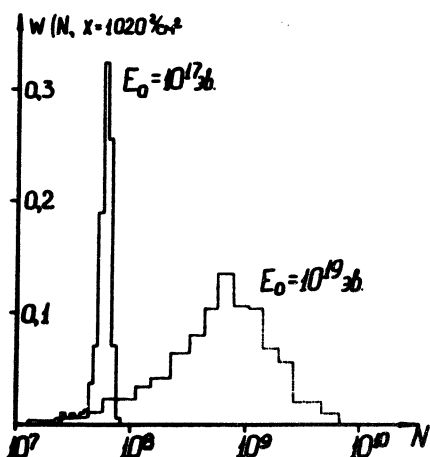
С. И. Никольский, Л. Ф. Снегурова, Ф. К. Шамсутдинова

Регистрация широких атмосферных ливней с числом частиц на уровне наблюдения больше  $10^{10}$  указывает на существование в первичном космическом излучении частиц с энергией  $\sim 10^{20}$  эв. В расчетах /1/ было показано, что на развитие в атмосфере электронно-фотонных каскадов такой энергии влияет эффект Ландау-Померанчука (подавление процессов тормозного излучения и образования пар). Однако при расчете был использован сугубо приближенный метод, не позволяющий определить точность расчета и не учитывающий флуктуации в развитии каскада.

Для более определенного решения вопроса нами были выполнены методом Монте-Карло расчеты электронно-фотонных каскадов в атмосфере от  $\gamma$ -квантов с энергией  $10^{17} - 10^{20}$  эв, начиная с глубины в 1,5 радиационных единиц.

Работа выполнена на ЭВМ БЭСМ-6 в Вычислительном центре СО АН СССР. Розыгрыш места взаимодействия производился с шагом в 0,1 радиационной единицы. Розыгрывалась также доля энергии, передаваемой электроном тормозному кванту. Вероятность образования пар и тормозного излучения с учетом эффекта Ландау-Померанчука определялась в соответствии с работой /2/. "Дерево" развития прослеживалось по отдельным поколениям до 10-й радиационной единицы или

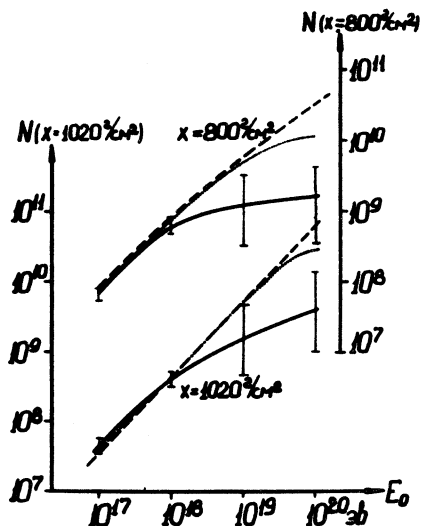
до энергии частицы, не превышающей 0,05 энергии первичного  $\gamma$ -кванта. Далее число частиц на уровне наблюдения определялось по соотношению /3/ для среднего числа частиц. Примеры получающихся распределений по числу электронов на уровне моря для 1000 разыгранных случаев  $\gamma$ -кванта заданной энергии показаны на рис. 1.



Р и с. 1. Распределения по числу электронов на уровне моря для двух значений энергии начального  $\gamma$ -кванта  $E_0$ .

Влияние эффекта Ландау-Померанчука проявляется при начальных энергиях  $\gamma$ -квантов выше  $10^{18}$  эв в существенном увеличении флуктуаций в числе частиц на уровне наблюдения и в относительном уменьшении среднего числа частиц по сравнению с ожидаемым из расчета без коррекции на указанный эффект. На рис. 2 сравниваются результаты настоящих расчетов для среднего числа электронов на уровне моря и на высоте, соответствующей  $800 \text{ г/см}^2$ , с расчетами /3/, не принимающими во внимание эффект Ландау-Померанчука. Там же даны оценки влияния эффекта по работе /1/.

Хотя в реальных широких атмосферных ливнях благодаря множественной генерации вторичных частиц влияние эффекта Ландау-Померанчука отодвигается к боль-



Р и с. 2. Зависимость среднего числа электронов на глубине атмосферы  $X$  от энергии первичного  $\gamma$ -кванта  $E_0$ . Штрих - зависимость без учета эффекта Ландау-Померанчука, пунктир - оценка влияния этого эффекта по работе /1/, сплошная линия - настоящий расчет, ошибки характеризуют стандартные отклонения в распределениях по числу электронов на уровне наблюдения.

шим энергиям первичных протонов, пренебрежение влиянием этого эффекта может исказить пересчет от спектра ливней по числу электронов или по величине черенковской вспышки к энергетическому спектру первичного космического излучения.

Поступила в редакцию  
3 марта 1971 г.

## Л и т е р а т у р а

1. В. П. Кулаковская, А. А. Поманский. Труды всесоюзной конференции по физике космических лучей, часть 1, вып. 3, стр. 34, Ташкент, 1968 г.
2. А. Б. Мигдал. ЖЭТФ, 32, 633 (1957).
3. К. Грейзен. Физика космических лучей (под ред. Вильсона), т. 3, стр. 20, 1954 г.