

Н. Л. ГРИГОРОВ, И. М. ЕВРЕЙНОВА и С. П. СОКОЛОВ

ОБ ИОНИЗАЦИИ В СТРАТОСФЕРЕ, ВЫЗЫВАЕМОЙ РАЗЛИЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 4 X 1951)

Величина средней ионизации K , создаваемой в воздухе заряженными частицами на пути в 1 см, легко может быть получена из отношения $K = I/N$, где I — число пар ионов, образуемых частицами в 1 см³ воздуха в 1 сек., а N — число частиц, проходящих через сферу сечением в 1 см² в 1 сек. Величина K для мезонов, наблюдаемых на уровне моря, по данным (¹, ²), равна примерно 60 I/см; по измерениям (³), выполненным с импульсной ионизационной камерой, она равна 73 ± 5 I/см (вероятная ионизация равна 63 ± 7 I/см). Из величины ионизационных потерь релятивистскими мезонами можно получить значение $K = 75$ I/см. Если учесть релятивистские поправки для электронов, спектр электронов и долю жесткой компоненты в общем потоке космических частиц, то среднее значение для K в стратосфере должно быть около 83 I/см. Однако наши старые измерения (⁴, ⁵) дали для K значение 150 ± 30 I/см. То, что значение K в стратосфере оказалось в $1,9 \pm 0,4$ раза больше, чем на уровне моря, указывает на наличие в составе космических лучей в стратосфере частиц, удельная ионизация которых значительно больше, чем у релятивистских частиц. Чтобы выделить из всей ионизации I_0 ту часть, которая не вызвана релятивистскими частицами, т. е. создается сильно ионизирующими частицами $I_{с.и}$, нами в 1951 г. были проведены повторные измерения ионизации и числа частиц в стратосфере, причем контрольными опытами было установлено наличие в камере насыщения ионизационного тока, вызванного α -частицами P_0 , и определена эффективная площадь счетчика.

Результаты проведенных измерений ионизации и числа частиц приведены на рис. 1. Здесь I_0 — ионизация в 1 см³ воздуха в 1 сек., измеренная камерой; $I_{рел} = 83NI/\text{см}^3 \text{ сек}$ — ионизация, созданная в 1 см³ воздуха в 1 сек. релятивистскими частицами (N — число частиц, проходящих через сферу сечением в 1 см² в 1 сек. При определении $I_{рел}$ мы предполагаем, что почти все частицы, считающиеся счетчиком в стратосфере, ионизируют как релятивистские). Очевидно, что разность $I_0 - I_{рел} = I_{с.и}$ — ионизация, вызванная сильно ионизирующими частицами.

Из рис. 1 видно, что на высотах 15—20 км почти $1/3$ всей ионизации, созданной космическим излучением, обязана сильно ионизирующим частицам.

Для того чтобы выяснить, какие процессы приводят к появлению этих сильно ионизирующих частиц, нами были проведены опыты по изучению ядерных расщеплений, вызываемых космическими лучами в стратосфере. В этих опытах была применена импульсная сферическая ионизационная камера, наполненная спектрально-чистым аргоном до давления в 4 атм. Камера была алюминиевая диаметром 150 мм,

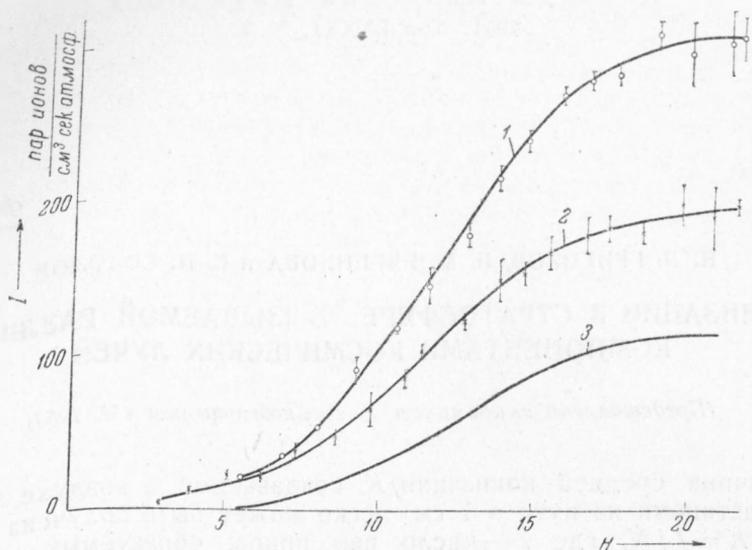


Рис. 1. 1 — ионизация I_0 , измеренная ионизационной камерой; 2 — ионизация $I_{\text{рел}} = 83N$, созданная всеми релятивистскими частицами; 3 — $I_{\text{с.и}} = I_0 - I_{\text{рел}}$ — ионизация, созданная сильно ионизирующими частицами

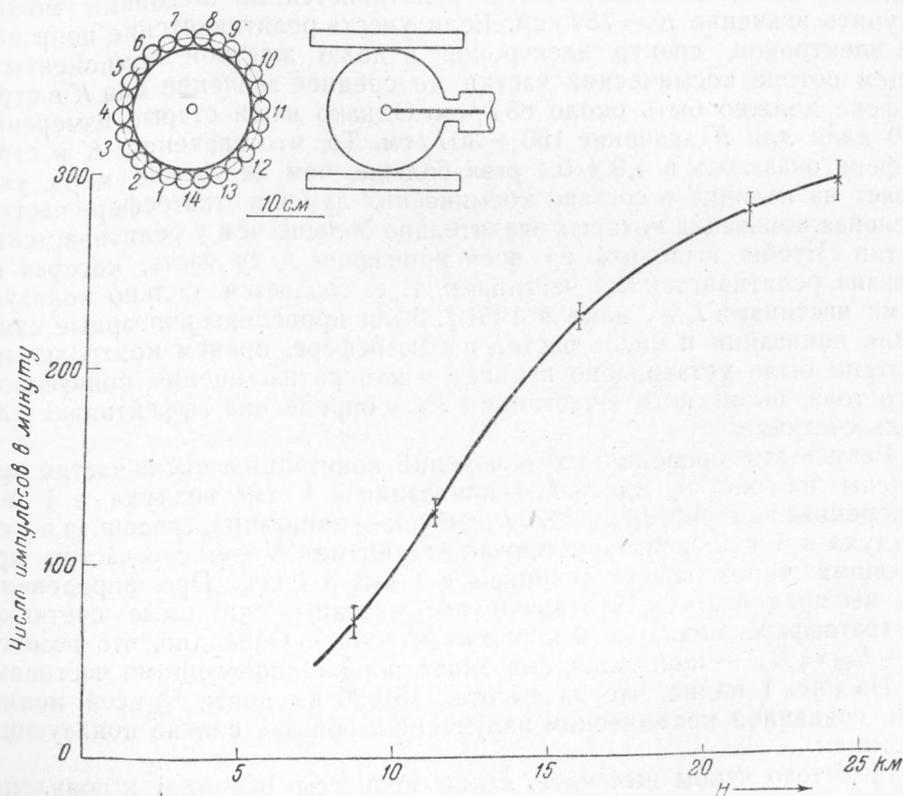


Рис. 2. Зависимость числа ядерных расщеплений от высоты места наблюдения. В углу — схематическое изображение в двух проекциях камеры, окруженной счетчиками

стосенками толщиной 1,5 мм. Она была окружена счетчиками (см. рис. 2), включенными в годоскоп. Для центральной части камеры счетчики закрывали 0,6 всего телесного угла. Мастерным сигналом был импульс в камере, соответствующий ионизации не менее 28 000 пар ионов. По радио на приемный пункт передавались величины импульса в камере и годоскопическая картина сработавших счетчиков. Разрешающее время τ годоскопической ячейки было $4 \cdot 10^{-5}$ сек. Такое значение τ давало 8% случайных совпадений на высоте 18–20 км.

Оказалось, 30% «толчков» в камере сопровождалось срабатыванием одного счетчика; 10% — срабатыванием двух счетчиков; 7% — срабатыванием трех и больше трех счетчиков (такое распределение остается практически неизменным в интервале высот 10–21 км).

Эти данные позволяют утверждать, что в ионизационной камере подавляющая часть ионизационных «толчков», эквивалентных прохождению через камеру 5 и более релятивистских частиц, в интервале высот от 10 до 21 км вызвана ядерными расщеплениями.

Полет описанной установки состоялся 1 апреля 1951 г. На рис. 2 приведена полу-

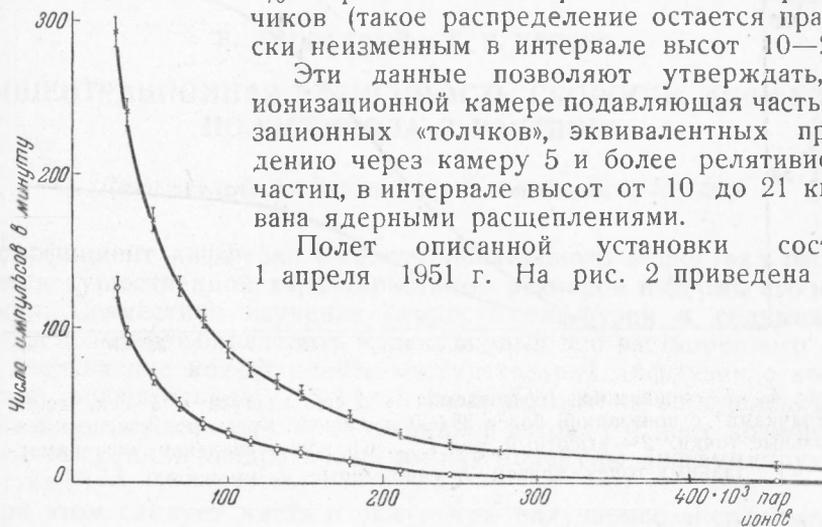


Рис. 3. Интегральные спектры толчков: 1 — на высоте 24 км, 2 — на высоте 11 км

ченная при этом кривая зависимости от высоты места наблюдения полного числа всех «толчков», больших чем 0,14 импульса от α -частицы P_0 , т. е. создающих ионизацию в камере больше 28 000 ионов.

На рис. 3 дан интегральный спектр «толчков» на высоте 24 км и на высоте 11 км. По оси абсцисс отложена ионизация, создаваемая в камере данным «толчком», по оси ординат — число «толчков» (больше определенной величины) в 1 мин.

Знание спектра «толчков» позволяет вычислить ионизацию, создаваемую ядерными расщеплениями в 1 см^3 воздуха в 1 сек. в камере. Обозначим эту величину $I_{\text{толчк}}$. На рис. 4 представлен высотный ход $I_{\text{толчк}}$ и для сравнения представлен высотный ход $I_{\text{с.и}}$. Из этого рисунка видно, что $I_{\text{толчк}}$ на всех высотах составляет 40% от $I_{\text{с.и}}$. На основании этого факта можно утверждать, что ионизация, созданная в атмосфере сильно ионизирующими частицами, по крайней мере генетически связана с ядерными расщеплениями.

Если предположить, что в результате ядерных расщеплений, происходящих в воздухе, образующиеся сильно ионизирующие частицы обладают таким же энергетическим спектром, каким обладают частицы, наблюдаемые в фотоэмульсиях ⁽⁶⁾, то легко показать, что из-за порога регистрации «толчков» в 28 000 I и того, что основная доля кинетической энергии всех частиц в «звездах» сосредоточена в частицах с ионизацией $I < 5 I_{\text{мин}}$, мы можем в виде «толчков» измерить не более 60% от $I_{\text{с.и}}$. Экспериментально измеренная ионизация, образуемая «толчками», составляет 40% от $I_{\text{с.и}}$.

Для подтверждения того, что значительная доля ионизации, входящей в $I_{с.и}$ и не регистрируемой импульсной камерой, обусловлена одиночными частицами с ионизацией $I < 5 I_{мин}$, можно привлечь данные (7). Если избыток положительно заряженных частиц, как это делают авторы, отождествить с протонами, то эти протоны создадут в воздухе на высоте 9000 м ионизацию, равную $13 I / \text{см}^3 \text{сек}$, в то время как из наших измерений на высоте 9000 м $I_{с.и} - I_{толчк} = 14 I / \text{см}^3 \text{сек}$. Таким образом, мы можем утверждать, что ионизация, измеряемая как раз-

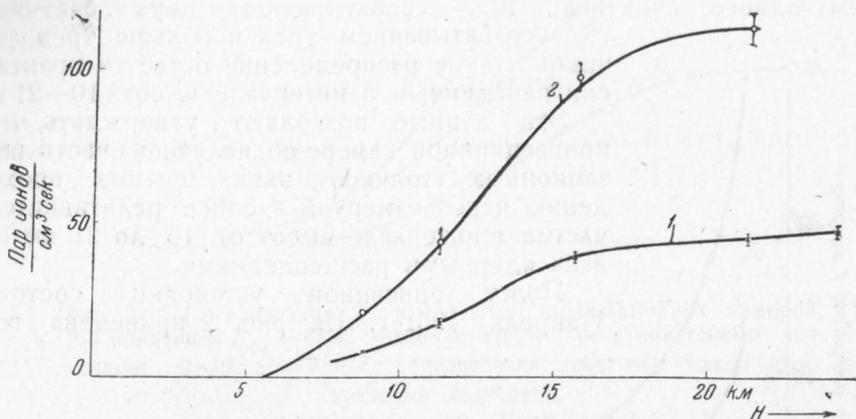


Рис. 4. 1 — ионизация, создаваемая в 1 см^3 воздуха в 1 сек. всеми „толчками“ с ионизацией более 28 000 пар ионов. Крестики — экспериментальные точки. 2 — высотный ход $I_{с.и}$. Кружки — значения экспериментальных точек кривой I , умноженные на множитель 2,5

ность $I_0 - I_{рел} = I_{с.и}$, создается продуктами ядерных расщеплений, возникающих в атмосфере. Поэтому

$$E'_{с.и} = 32 \text{ эв} \int_0^{\infty} I_{с.и}(p) dp = 38 \cdot 10^9 \text{ эв} / \text{см}^2 \text{сек}$$

есть кинетическая энергия всех сильно ионизирующих частиц, образовавшихся в столбе атмосферы сечением в 1 см^2 в 1 сек. в результате ядерных расщеплений.

Из (6) можно учесть энергию связи. $E_{связи} \cong 0,3 E_{с.и}$, таким образом $E_{яд. \text{ расщ}} = 1,3 E_{с.и} = 49 \cdot 10^9 \text{ эв} / \text{см}^2 \text{сек}$. Полный поток энергии через 1 см^2 в 1 сек. равен $E_{общ} = 128 \cdot 10^9 \text{ эв} / \text{см}^2 \text{сек}$, таким образом $E_{яд. \text{ расщ}} / E_{общ} \cong 0,4$.

Таким образом, первичные космические частицы с $E > 1,5 \cdot 10^9 \text{ эв}$ при прохождении через атмосферу около 40% своей энергии передают на ядерные расщепления.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность проф. С. Н. Вернову за дискуссию результатов.

Поступило
17 VII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. G. Dunlap, Phys. Rev., 67, 67_A (1945). ² W. F. G. Swann, *ibid.*, 44, 961 (1933). ³ Н. А. Доброгин, Я. Н. Греевская, Н. Л. Григоров, С. И. Никольский и И. Д. Раппопорт, ДАН, 77, 599 (1951). ⁴ С. Н. Вернов, Н. Л. Григоров и Ф. Д. Савин, ДАН, 57, 137 (1947). ⁵ С. И. Бриккер, С. Н. Вернов, Н. Л. Григоров, И. М. Евреина и Т. Н. Чарахчьян, ДАН, 59, 629 (1948). ⁶ R. H. Brown, V. Camerini, P. H. Fowler, H. Heitler, D. T. King and C. F. Powell, Phil. Mag., 40, No. 307 (1949). ⁷ R. V. Adams, C. D. Anderson, P. E. Lloyd, R. R. Rau and R. C. Saxena, Rev. Mod. Phys., 20, 334 (1948).