

Н. Л. ГРИГОРОВ, И. Д. РАПОПОРТ и Г. П. ШИПУЛО

## СПЕКТР ИОНИЗАЦИЙ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СТРАТОСФЕРЕ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 30 IV 1953)

1. Измерения ионизирующей способности космических лучей в стратосфере, выполненные в работе (1) с помощью интегральной ионизационной камеры и маленького одиночного счетчика, показали, что ионизация растет с высотой заметно быстрее, чем это можно было ожидать, если бы все частицы ионизовали как релятивистские. Обнаруживающаяся при этом «избыточная» ионизация едва наполовину исчерпывается ионизационным вкладом толчков, хотя высотный ход избытка и совпадает с высотным ходом последних. Это обстоятельство, а также и то, что регистрация ионизационных толчков в работе (1) была ограничена порогом, эквивалентным прохождению 7 релятивистских частиц, побудили авторов исследовать спектр ионизаций одиночных частиц в широком диапазоне ионизаций.

Сконструированная для измерений в стратосфере полетная установка регистрировала частицы, идущие в пределах небольшого телесного угла, вырезаемого вдоль вертикали двумя рядами телескопических счетчиков. Между счетчиками телескопа находилась импульсная ионизационная камера. Двойные совпадения в телескопических счетчиках управляли трактом камеры. Свинцовый фильтр толщиной 5 см, прикрытый слоем алюминия толщиной в 2 см в целях снижения обратного тока из свинца в камеру, и третий ряд счетчиков (см. рис. 1) служили для разделения мягкой и жесткой компонент. Минимальный пробег для частиц мягкой компоненты был равен  $1,7 \text{ г/см}^2$  алюминия.

Сферическая алюминиевая ионизационная камера диаметром 150 мм с толщиной стенок 1,5 мм наполнялась чистым аргоном до давления 4,45 ата. Регистрировалась электронная составляющая импульса со временем собирания заряда  $5 \cdot 10^{-5}$  сек. (при напряжении 900 в на камере). Условия насыщения были близки к условиям работы (1). Потери в величине импульса, обусловленные прилипанием электронов, были, по измерениям импульсов от  $\alpha$ -частиц  $P_0$ , невелики,  $\sim 5\%$  для частиц, пересекающих камеру вдоль радиуса. Параметры и режим усилителя отвечали условиям минимального уровня шумов, среднее квадратичное значение которых составляло 5  $\mu\text{в}$ , т. е. около  $1/9$  от средней величины импульса, создаваемого прохождением через камеру одной релятивистской частицы. Нижний порог регистрации импульсов от камеры граничил с уровнем шумов. Диапазон измерений ионизаций составлял от 0,2 до 50-кратного значения среднего импульса, создаваемого в камере одной релятивистской частицей.

Управление усилительным трактом осуществлялось при помощи вентильного устройства, открывавшего усилительный тракт на время

$1,7 \cdot 10^{-4}$  сек. в момент прохождения частицы через телескоп. Вероятность наложения двух импульсов от камеры в течение этого времени достигала, как показывают расчет и измерения, 6,5% (на высоте 18 км). По радио на землю передавались величина импульса в ионизационной камере и система отметок, позволявшая различать частицы мягкой и жесткой компонент. Периодически передавались импульсы, контролирувавшие тракт камеры: его коэффициент усиления и уровень шумов. На время передачи сигнала блокировалась работа вентиляционного каскада, чем исключались наложения сигналов в тракте передачи.

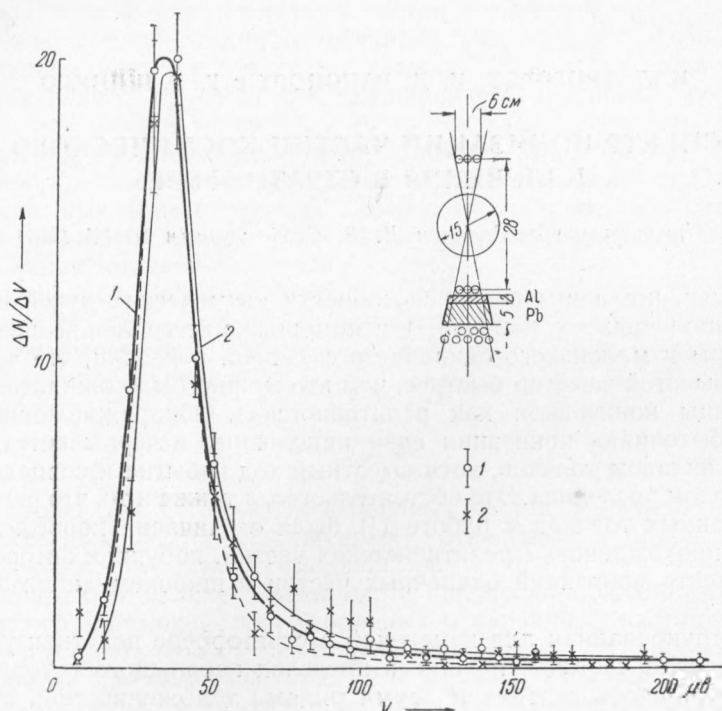


Рис. 1. Дифференциальные спектры ионизаций на уровне моря. 1 — жесткая компонента, 2 — мягкая компонента. Пунктирная кривая — флуктуации ионизационных потерь по Ландау (2)

2. Измерениям в стратосфере предшествовали градуировка усилительного тракта при помощи калибровочных импульсов с точностью до 3% и контрольные измерения на уровне моря. При вычислении средней ионизации вводились поправки на величину ионной составляющей импульса, потери на прилипание электронов, разброс в траекториях частиц и учитывался характер прохождения сигнала от камеры по цепям усилителя.

На рис. 1 приведены кривые дифференциальных распределений ионизаций для частиц жесткой и мягкой компонент на уровне моря (по оси абсцисс отложены амплитуды импульсов от камеры). Наиболее вероятная ионизация составляет в воздухе на уровне моря для частиц жесткой и мягкой компонент, соответственно,  $56 \pm 5$  и  $61 \pm 5$  пар ионов/см, а средняя удельная ионизация  $69 \pm 5$  и  $75 \pm 5$  пар ионов/см. Средняя удельная ионизация для всего излучения на уровне моря равна, по этим измерениям,  $72 \pm 5$  пар ионов/см (здесь указаны лишь статистические ошибки измерений; аппаратурные менее 5%). Последняя цифра согласуется, в пределах ошибок, со значением  $77 \pm 11$  пар ионов/см, полученным для этой же величины при помощи интегральной камеры и одиночного счетчика, использованных в работе (1).

3. С описанной установкой были произведены два полета до высоты 18,5 км; их результаты совпадают между собой.

На рис. 2 изображены гистограммы распределений импульсов в камере (только до 6-кратных ионизаций), полученные при регистрации частиц жесткой и мягкой компонент в интервале высот 17—18,5 км. Там же для сравнения приведены соответствующие дифференциальные спектры ионизаций, относящиеся к уровню моря, с учетом экспериментально измеренных во время полета уровня шумов (8  $\mu\text{в}$ ) и числа двойных наложений (6,5%). Как видно из сравнения, спектры на уровне моря и на высоте 18 км, так же как и на промежуточных высотах, мало отличаются друг от друга в области до 5-кратной ионизации (за единицу кратности принята наиболее вероятная ионизация жесткой компоненты на уровне моря).

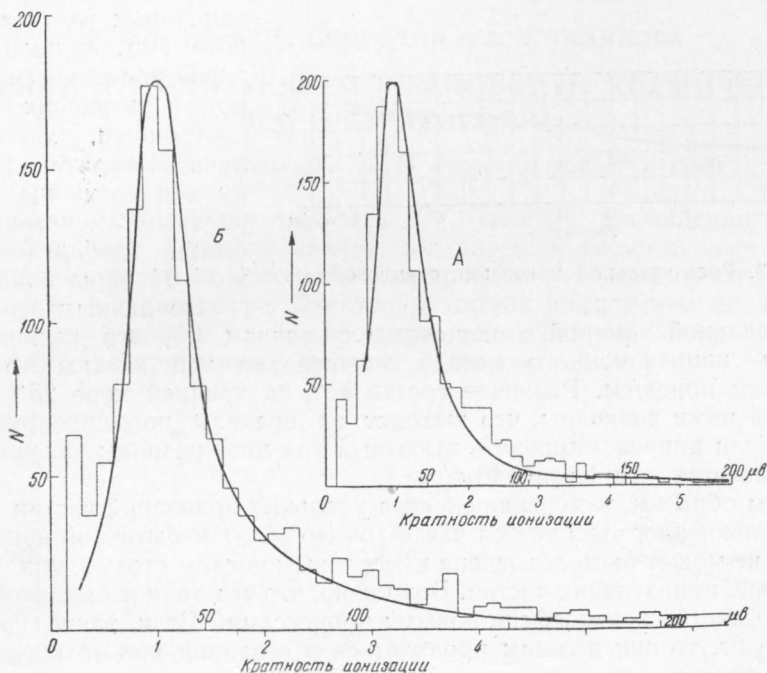


Рис. 2. Гистограммы распределения по ионизациям частиц жесткой компоненты (А) и мягкой компоненты (Б) на высоте 18 км в сравнении со спектром на уровне моря, приведенным к условиям измерений в стратосфере

Наиболее вероятная ионизация жесткой компоненты представляется сдвинутой на  $\sim 10\%$  в сторону меньших значений. Небольшой (10%) «избыток» частиц в области 1—3-кратных ионизаций, наблюдаемый в спектре жесткой компоненты, слабо меняется в интервале высот 8,5—18 км. По данным Андерсена (<sup>3</sup>), на высоте 9 км протоны с импульсами  $10^9$  эв  $> pc > 6,6 \cdot 10^8$  эв должны в указанной области спектра жесткой компоненты дать 8% от всех регистрируемых случаев. Небольшие пики (до 6% в мягкой и 3% в жесткой компонентах) в начале гистограмм свидетельствуют о случаях срабатывания телескопической системы от боковых ливней без прохождения частицы через камеру. При этом регистрировались только импульсы шумов.

Сопоставление результатов наших измерений с данными работы (<sup>1</sup>) позволяет заключить, что наблюдаемые случаи регистрации больших ионизационных импульсов (превышающих  $\sim 7$ -кратную ионизацию) не могут быть обусловлены прохождением одиночных сильно ионизирующих частиц, а создаются в основном ливнями и ядерными расщеплениями. На рис. 3 приведены данные, иллюстрирующие рост средней удельной ионизации космических частиц с высотой, вычисленные на основании полученных

спектров за вычетом импульсов, превышающих 5-кратную ионизацию в спектре жесткой и 10-кратную в спектре мягкой компонент.

4. Произведенные измерения позволяют заключить, что не менее 80% всех частиц, регистрируемых нашей установкой в вертикальном потоке на 18 км, ионизуют как релятивистские частицы. Средняя удельная ионизация частиц, регистрируемых нашей установкой, возрастает от значения  $72 \pm 5$  пар ионов/см на уровне моря до  $88 \pm 4$  пары ионов/см на высоте 18 км, главным образом, за счет частиц мягкой компоненты, преимущественно в области 4–10-кратных ионизаций.

Усредняя полученные на высоте 18 км спектры до ионизаций, эквивалентных прохождению 7 релятивистских частиц (порог регистрации ионизационных толчков в работе (1)), и полагая угловое распределение сильно ионизирующих частиц изотропным, можно получить верхнюю границу для величины средней удельной ионизации частиц в глобальном потоке — 94 пары ионов/см.

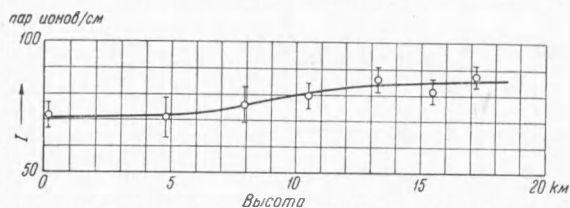


Рис. 3. Рост удельной ионизации с высотой

По данным измерений с интегральной камерой и одиночным счетчиком (1), эта величина, за вычетом ионизационного вклада толчков, на той же высоте равна 118 парам ионов/см. Различие составляет, по крайней мере 25% от измеренной нами величины, что выходит за пределы погрешностей измерений. Если аппроксимировать высотный ход этой разницы законом  $e^{-\mu r}$ , то оказывается, что  $1/\mu = 140$  г/см<sup>2</sup>.

Таким образом, измерение спектра удельных ионизаций частиц в стратосфере показало, что имеется часть (около 30%) избыточной ионизации, которая не может быть объяснена измеренным числом «толчков» и одиночных сильно ионизирующих частиц. Возможно, что эта доля избыточной ионизации создается в атмосфере новыми процессами. Если такие процессы существуют, то они должны проявляться в создании весьма короткопробежных частиц с энергией меньше 1 Мэв, причем эти частицы должны генерироваться нейтральной компонентой.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить глубокую признательность проф. С. Н. Вернову за постоянный интерес к работе, ценные советы и дискуссию результатов.

Поступило  
12 I 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Григоров, И. Евреинова, С. Соколов, ДАН, 81, № 3 (1951).  
<sup>2</sup> Л. Ландау, J. of Phys., 8, 204 (1944). <sup>3</sup> R. V. Adams, C. D. Anderson, P. E. Lloyd et al., Rev. Mod. Phys., 20, 334 (1948).