

Г. Е. БЕЛОВИЦКИЙ и Л. В. СУХОВ

**ВЫСОТНЫЙ ХОД ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ,
ВЫЗЫВАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 13 VII 1948)

Методом толстослойных фотопластинок исследовалась высотная зависимость для числа тяжелых частиц, вызываемых космическими лучами. Высотный ход был измерен в интервале высот от 200 до ~ 6000 м во время Памирских экспедиций 1946 и 1947 гг. Дополнительные лабораторные опыты показали, что на результаты, получаемые фотографическим методом, может оказывать большое влияние фоторегрессия (исчезновение скрытого фотографического изображения следов тяжелых частиц в эмульсии), температура, при которой облучались фотопластинки, и время их проявления. Все три фактора в разной степени влияют на наблюдаемое число тяжелых частиц и были приняты во внимание.

Было также установлено, что помещение пластинок в вакуум (~ 1 мм Hg) значительно замедляет фоторегрессию.

В работе использовались толстослойные фотопластинки толщиной 100 μ в 1946 г. и 40 μ в 1947 г. Пластинки экспонировались в вертикальном положении (т. е. поставленными на ребро) на пяти высотах. Пластинки складывались попарно эмульсионным слоем внутрь и закрывались в два слоя неактивной бумаги. В опытах 1947 г. пластинки помещались в запаянную жестяную коробочку с толщиной стенок в 0,5 мм. Кроме того, на каждой высоте было установлено по партии пластинок, помещенных в вакуум.

Необходимо отметить, что пластинки на высотах 4700 и ~ 6000 м экспонировались вне помещения, т. е. в иных температурных условиях по сравнению с пластинками на меньших высотах. Пластинки со всех высот проявлялись в течение одного и того же времени, а в 1947 г. все в одной ванне одновременно, исключая пластинки с высоты 200 м. Поиск следов производился на бинокулярном микроскопе при общем увеличении $300\times$ в 1946 г. и $450\times$ в 1947 г. Размер просматриваемой полосы $0,5\times 20$ мм и $0,25\times 20$ мм, соответственно. При просмотре одиночные следы были разбиты на пять групп, в зависимости от длины следа в эмульсии. Для всех групп измерялась длина проекции следа на плоскость пластинки, угол между вертикалью и направлением движения частицы, а также выяснялось, имеет ли след начало и конец в эмульсии.

В табл. 1 (для пластинок, находившихся в вакууме, из опытов 1947 г.) указаны высоты, продолжительность экспозиции, просмотренная площадь и распределение наблюдаемых тяжелых частиц по их пробегаем в эмульсии (в сантиметрах воздушного эквивалента).

Высота в м	Продолжит. экспозиции в днях	Просмотрен. площ. в мм ²	Число тяжелых частиц с длиной следа в см воздушного эквивалента					Число тяжелых частиц на см ² в день с пробегом более 10 см воздушного эквивалента
			до 4	4-10	10-20	20-70	>70	
200	55	30	64	23	3	3	—	0,36 ± 0,15
960	28	30	42	41	22	14	4	4,8 ± 0,7
3860	27	15	35	50	48	43	13	26 ± 2,7
4700	27	15	35	59	63	55	13	32 ± 2,8
~6000	26	15	45	92	90	85	30	53 ± 3,6

На рис. 1 показана зависимость числа одиночных следов от высоты (для суммарного числа следов с длиной больше 10 см воздушного эквивалента). По оси абсцисс отложено давление в атмосферах, по оси ординат S_p — число тяжелых частиц на 1 см² площади пла-

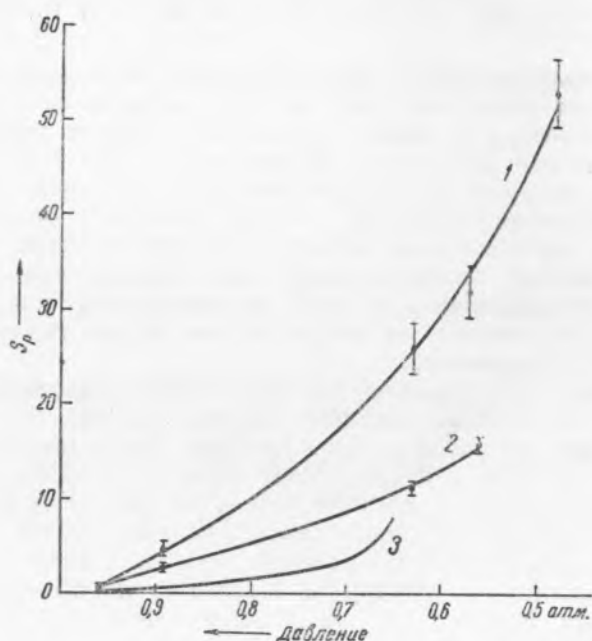


Рис. 1. Высотный ход для тяжелых частиц

стинки в день. Кривая 1 дает число частиц для пластинок, находившихся в вакууме (опыты 1947 г.); кривая 2 — для пластинок, сообщавшихся с наружным воздухом (из опытов 1946 и 1947 гг.). Для сравнения приведена кривая 3, полученная в опытах Видхальма⁽¹⁾.

В интервале высот от 900 до ~6000 м высотный ход для потока тяжелых частиц S_p может быть описан экспоненциальным законом для суммарного числа следов (с длиной больше 10 см воздуха)

$$S_p = ce^{-\mu p},$$

где p — давление в атмосферах, $\mu = (6,0 \pm 1,2) 1/\text{атм}$. Отсюда для эффективного сечения поглощения генерирующих частиц ядрами азота и кислорода получаем $\sigma = \mu/N = (1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-25} \text{ см}^2$, где $N = 4,3 \cdot 10^{25}$ — число ядер в атмосфере на 1 см² земной поверхности.

На рис. 2 показана зависимость логарифма интенсивности тяжелых частиц (для следов больше 10 см воздушного эквивалента) от давления для интервала высот от 200 до ~6000 м. Из графика видно, что точка, соответствующая 200 м над уровнем моря, лежит значительно ниже прямой, т. е. в области высот 900—200 м имеет место аномальное поглощение генерирующей компоненты⁽²⁾. Резкий излом прямой на малых высотах наблюдался также и другими авторами^(1,3). Однако полученные нами данные для высоты 200 м из-за наличия фоторегрессии (большее время экспозиции, см. табл. 1) являются заниженными. Поэтому для окончательного подтверждения аномального поглощения необходимы дополнительные опыты.

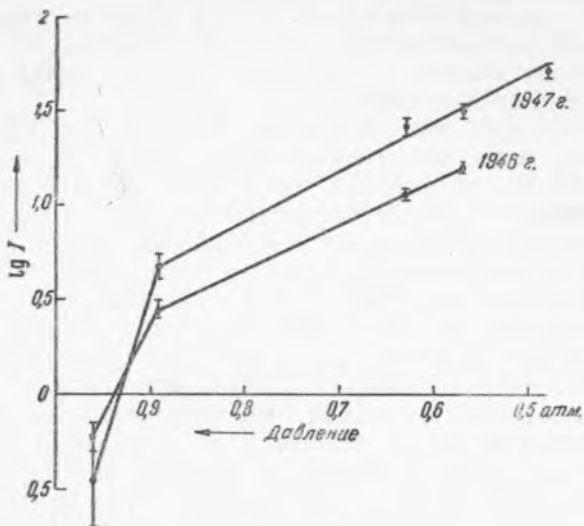


Рис. 2

Анализ табл. 1, а также результатов 1946 г. указывает на то, что имеет место неодинаковый рост с высотой для тяжелых частиц различных пробегов. Число следов с пробегом 10—20 см воздушного эквивалента в интервале высот 900—6000 м растет в 8 раз, а число следов с пробегом свыше 20 см — в 12 раз.

Сравнение нашей кривой с высотной кривой, полученной Видхальмом, указывает на большое расхождение данных в интенсивности и коэффициенте поглощения μ . Данные Видхальма для числа тяжелых частиц сильно занижены, повидимому, из-за большой регрессии вследствие длительной экспозиции пластинок, а большое различие во времени облучения его пластинок (от 91 до 257 дней) на разных высотах могло привести к искажению кривой высотного хода и неправильному значению μ .

Полученные нами качественные результаты для высотного хода звезд дали то же значение $\mu \sim 6 \text{ атм.}^{-1}$, что и для одиночных тяжелых частиц, и указывают на генетическую связь звезд и одиночных тяжелых частиц (на высотах 3860 м число „звезд“ на 1 см^2 в день $\sim 0,1$). Высотный ход для звезд, полученный Вамбахер⁽³⁾, находится в удовлетворительном согласии с нашим и отличен от высотного хода для тяжелых частиц (Видхальм), полученного при обработке Вамбахером и Видхальмом одних и тех же пластинок. Это может быть объяснено тем, что фоторегрессия для одиночных частиц больше, чем для звезд, так как в последних, наряду со слабо ионизирующими частицами, след которых быстро регрессирует, всегда присутствуют и сильно ионизирующие частицы.

Большинство следов тяжелых частиц, наблюдаемых в фотоэмульсии, пересекает ее насквозь, т. е. образуется в основном в стекле пластинки и прилегающих предметах.

Из общего числа промеренных нами на всех пластинках 1409 следов с пробегом больше 10 см воздушного эквивалента 39 следов имеют начало и 82 следа конец в эмульсии. Наличие одиночных следов с началом в эмульсии, повидимому, частично обязано упругим столкновениям быстрых нейтронов с ядрами водорода в эмульсии.

Для части следов по нарастанию плотности зерен можно определить направление движения частицы. Число следов, вызванных частицами, движущимися вниз, оказалось практически равным числу следов частиц, движущихся вверх. Таким образом, имеет место изотропное угловое распределение для исследованных тяжелых частиц. Полученные выше данные позволяют оценить вклад в ионизацию, вносимый тяжелыми частицами.

Из табл. 1 следует, что на высоте 3860 м для следов с длиной проекции более 4 см воздушного эквивалента, за вычетом радиоактивного фона, число тяжелых частиц на 1 см^2 в 1 мин. $\sim 2,6 \cdot 10^{-2}$, что соответствует $\sim 1,3\%$ от интенсивности мягкой компоненты. При этой оценке число наблюдаемых в эмульсии следов приравнивается числу частиц, пересекающих плоскость пластинки, что, как указывалось, приблизительно верно. Далее, известно, что пластинки надежно регистрируют частицы, для которых удельная ионизация по крайней мере в 20—15 раз больше ионизации релятивистской частицы (например, протоны с энергией 15—20 MeV). Отсюда получаем, что минимальное значение ионизаций, приходящееся на долю тяжелых частиц, составляет не менее 20—25% от ионизации мягкой компоненты. Естественно, что такое сопоставление с ионизацией мягкой компоненты законно только в том случае, если можно пренебречь для тяжелых частиц переходным эффектом воздух — стекло.

Из полученных данных можно также оценить интенсивность компоненты, генерирующей тяжелые частицы на высоте 3860 м, если сделать следующие допущения: а) при каждом акте взаимодействия первичной частицы с ядром возникает одна частица, б) средний пробег генерируемых в стекле тяжелых частиц около 0,5 мм и в) эффективное сечение для образования тяжелых частиц в стекле равно эффективному сечению в воздухе $\sim 1,4 \cdot 10^{-25} \text{ см}^2$. Тогда, зная интенсивность тяжелых частиц $\sim 2,6 \cdot 10^{-2}$ частиц/см² мин. и интенсивность жесткой компоненты 2 частиц/см² мин. на высоте 3860 м, получим, что интенсивность генерирующей компоненты в несколько раз больше интенсивности жесткой компоненты.

В заключение выражаем благодарность члену-корреспонденту АН СССР И. М. Франку за руководство работой и Н. А. Добротину за помощь в работе и ряд ценных указаний.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева
Академии Наук СССР

Поступило
5 II 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. Widhalm, Z. f. Phys., 115, 481 (1940). ² В. Л. Гинзбург, Усп. физ. наук, 29, 41 (1946). ³ H. Wambacher, Sitzungsber. d. Akad. Wien, 149, 157 (1940).