

С. А. АЗИМОВ, А. Л. ЛЮБИМОВ и К. П. РЫЖКОВА

**О ПОГЛОЩЕНИИ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ,  
ГЕНЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНЫЕ ЛИВНИ**

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 11 III 1953)

Летом 1951 г. нами было проведено измерение поглощения частиц, генерирующих электронно-ядерные ливни, в графите, железе и свинце. Работа проводилась на Памире, на высоте 3860 м. Схема установки изображена на рис. 1. Каждый из счетчиков был соединен со своей

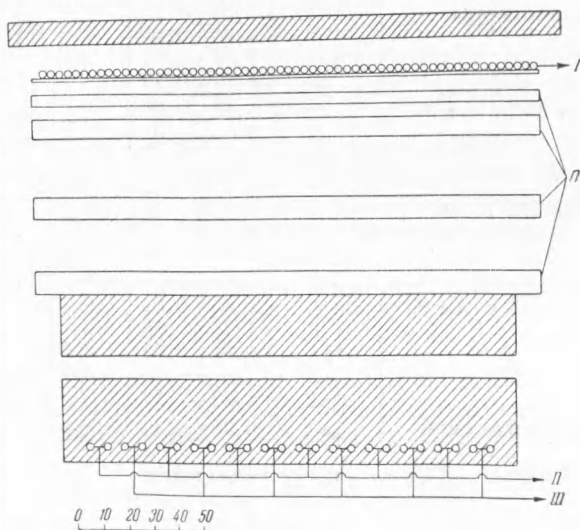


Рис. 1

ячейкой годоскопа, управлявшегося трехкратными совпадениями счетчиков *I*, *II* и *III*. Эти совпадения отбирали случаи образования ионизующими частицами ливня, содержащего не менее двух проникающих частиц. Толщина свинца, разделявшего соседние счетчики *II* и *III*, составляла не менее 4 см.

Между поглотителем *II* и счетчиками *II* и *III* постоянно помещалось 56 см свинца для исключения влияния переходного эффекта плотности (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>)\*. Поглотители из железа или свинца располагались

\* Так например, из кривой поглощения электронно-ядерных ливней в воде (<sup>3</sup>) видно, что влияние переходного эффекта плотности перестает сказываться на глубине 2—3 пробегов для взаимодействия с ядрами частиц, генерирующих электронно-ядерные ливни.

слоями таким образом, чтобы занятый ими объем равнялся объему поглотителя из графита.

Для обработки отбирались только те годоскопические снимки, на которых видно срабатывание либо двух несоседних, либо трех или более счетчиков II и III. При такой системе отбора регистрировались электронно-ядерные ливни, генерированные частицами с энергией больше  $10^{10}$  эв. Из рассмотрения исключались случаи срабатывания более одного из счетчиков I, т. е. рассматривались лишь случаи попадания на установку одиночной проникающей ионизирующей частицы.

Основные результаты измерений приведены в табл. 1. В четвертом столбце указаны величины среднего пробега для поглощения  $\lambda_{\Pi}$  компоненты, генерирующей электронно-ядерные ливни. В последнем столбце приведено отношение  $\lambda_{\Pi}$  к среднему свободному пробегу  $\lambda_0$ , соответствующему так называемому «геометрическому» поперечному сечению ядра  $\sigma = \pi \cdot 1,4^2 A^{1/2} \cdot 10^{-26}$  см<sup>2</sup>;  $\lambda_0$  близко к величине пробега для взаимодействия  $\lambda_{\Pi}$  частиц, генерирующих электронно-ядерные ливни.

Таблица 1

	Число сработавших счетчиков II и III $N_c$	Число случаев в час*	$\lambda_{\Pi}$ в г·см <sup>-2</sup>	$\lambda_{\Pi}/\lambda_0$
Без поглотителя	2	$3,39 \pm 0,13$		
	3	$3,80 \pm 0,13$		
	$\geq 4$	$1,57 \pm 0,09$		
	$\geq 3$	$5,37 \pm 0,16$		
Графит 152 г·см <sup>-2</sup>	2	$1,96 \pm 0,08$	$278 \pm 29$	3,5
	3	$1,92 \pm 0,08$	$223 \pm 18$	
	$\geq 4$	$0,74 \pm 0,05$	$203 \pm 27$	
	$\geq 3$	$2,66 \pm 0,10$	$216 \pm 15$	
Железо 252 г·см <sup>-2</sup>	2	$1,82 \pm 0,10$	$405 \pm 42$	3,4
	3	$1,91 \pm 0,10$	$366 \pm 23$	
	$\geq 4$	$0,67 \pm 0,06$	$295 \pm 35$	
	$\geq 3$	$2,58 \pm 0,11$	$344 \pm 25$	
Свинец 365 г·см <sup>-2</sup>	2	$1,85 \pm 0,08$	$603 \pm 58$	3,0
	3	$1,71 \pm 0,08$	$457 \pm 33$	
	$\geq 4$	$0,81 \pm 0,05$	$553 \pm 71$	
	$\geq 3$	$2,52 \pm 0,10$	$482 \pm 31$	
Свинец 160 г·см <sup>-2</sup>	$\geq 2$	$4,37 \pm 0,12$	$527 \pm 28$	3,0
	$\geq 2$	$6,30 \pm 0,22$	$496 \pm 64$	

\* С поправкой на случайные совпадения.

На основании приведенных в таблице данных можно сделать следующие заключения:

1. Сопоставление величин поглощения при различном числе  $N_c$  сработавших счетчиков II и III показывает отсутствие влияния переходного эффекта плотности, который должен был бы приводить к уменьшению измеренной величины поглощения для больших  $N_c$  (указанный эффект наблюдался нами, в частности, при измерениях со сходной установкой, где, однако, толщина поглотителя и постоянного слоя свинца под ним была меньше).

Равенство в пределах ошибок измерения величин  $\lambda_{\Pi}$ , измеренных при двух различных толщинах свинца, также указывает на отсутствие переходного эффекта плотности.

Некоторое уменьшение поглощения для наименьших  $N_c$  является, по видимому, следствием регистрации небольшого количества ливней, вызванных электромагнитным взаимодействием  $\mu$ -мезонов высокой энергии.

2. Измеренная величина  $\lambda_n$  в графите существенно больше соответствующей величины для воздуха ( $\sim 120 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$  (1)). При отсутствии влияния переходного эффекта плотности это означает, что в составе компоненты, генерирующей электронно-ядерные ливни, имеются распадающиеся частицы. Доля этих частиц может быть оценена с помощью соотношения

$$\lambda_v = \lambda_n (1 - \bar{s}), \quad (1)$$

где  $\bar{s}$  — среднее эффективное число ядерно-активных частиц, образующихся в одном акте взаимодействия генерирующей частицы с ядрами атомов вещества.

Уравнение (1) справедливо не только в частных предположениях, на основе которых оно выведено в (2) и (4), но и в весьма общем случае, что можно показать, исходя из кинетических соотношений для соответственно усредненных значений  $\lambda_n$  и  $s^*$ .

Так как величина  $\lambda_n$  для воздуха и графита  $\sim 60\text{--}70 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ , то из (1) получаем, что в воздухе  $\bar{s}$  меньше, чем в графите, на  $1/3$  своей величины. Таким образом, около  $1/3$  частиц, генерирующих электронно-ядерные ливни в плотном веществе, успевают распасться в воздухе на средних высотах.

Если считать, что этими распадающимися частицами являются в основном  $\pi$ -мезоны, то, поскольку для энергий  $\sim 10^{10}$  эв, выбираемых установкой, их пробег распада сравним с пробегом для взаимодействия в воздухе,  $\pi$ -мезоны даже в воздухе должны составлять заметное количество среди частиц, генерирующих электронно-ядерные ливни; в плотном же веществе их доля должна быть значительно больше  $1/3$ .

3. Поглощение в свинце существенно меньше, чем в равном по массе слое графита. Поглощение в слоях графита, железа и свинца, эквивалентных по числу укладываемых в них величин  $\lambda_n$  одинаково, а значит, и поглощение при прохождении ядра в первом приближении одинаково.

4. Величина  $\lambda_n$  для всех трех веществ приблизительно в 3 раза превосходит  $\lambda_v$ , т. е.  $\left(\frac{\lambda_n}{\lambda_v}\right)_C \approx \left(\frac{\lambda_n}{\lambda_v}\right)_{Fe} \approx \left(\frac{\lambda_n}{\lambda_v}\right)_{Pb} \approx 3$ .

Это означает, что поглощение ядерно-активных частиц вместе с образованными ими вторичными ядерно-активными частицами, происходит в среднем после приблизительно 3 взаимодействий с ядрами.

Но сечение для взаимодействия с ядрами генерирующих частиц близко к геометрическим размерам ядра. Поэтому при прохождении этих частиц сквозь тяжелые ядра должны иметь место последовательные соударения с нуклонами внутри одного и того же ядра.

Тем не менее убыль в числе ядерно-активных частиц при прохождении одного ядра приблизительно одинакова для легких и для тяжелых веществ, несмотря на различное число соударений с нуклонами внутри легких и тяжелых ядер.

Эта особенность может быть объяснена либо предположением, что при энергиях порядка  $10^{10}$  эв налетающая быстрая частица взаимодействует с ядром как с целым, и результаты взаимодействия мало зависят от атомного номера ядра. Либо же, если исходить из представления о том, что при прохождении сквозь ядро ядерно-активные частицы могут последовательно взаимодействовать с различными нукло-

\* В работе (3) для оценки доли распадающихся генерирующих частиц путем сравнения поглощения в воде и воздухе использовано соотношение  $\lambda_{\text{воздух}} = \lambda_{\text{вода}}(1 - \bar{s})$ . Это соотношение неверно.

нами или группами нуклонов, указанное соотношение может быть объяснено следующим образом:

$\pi^0$ -мезоны, возникающие в акте образования электронно-ядерного ливня, по вылете из ядер, в которых они возникли, распадаются, образуя фотоны, и можно считать, что, с точки зрения ядерно-каскадного процесса, переданная им энергия при этом необратимо пропадает. В тяжелых ядрах должен иметь место внутриядерный каскадный процесс с участием также и  $\pi^0$ -мезонов, вследствие чего переданная последним энергия будет частично входить в энергию ядерного каскада и соответственно уменьшать его затухание. В результате этого уменьшение числа ядерно-активных частиц после прохождения одного легкого ядра должно быть меньше, чем после прохождения нескольких легких ядер с тем же числом нуклонов на пути ядерно-активных частиц.

Помимо  $\pi^0$ -мезонов, подобный эффект могут вызывать и другие ядерно-активные частицы, распадающиеся на длине пути, малой или сравнимой с пробегом для взаимодействия в плотном веществе и образующие при этом ядерно-пассивные частицы.

Произведенная нами количественная оценка этого эффекта, основанная на соотношении (1), показывает возможность подобного объяснения наших опытных данных.

Поскольку внутри тяжелых ядер  $\pi^0$ -мезоны часть своей энергии расходуют в ядерных взаимодействиях, то следует ожидать, что энергия, передаваемая электронно-фотонной компоненте в тяжелых веществах будет меньше, чем в равном по массе количестве легкого вещества.

Наличие внутриядерного каскадного процесса должно приводить к деградации энергии провзаимодействовавших ядерно-активных частиц. Поэтому средняя энергия ядерно-активных частиц, покидающих тяжелые ядра, должна быть несколько меньше, чем энергия частиц, выходящих из легких ядер. Так как при этом все же поглощение в легких и тяжелых веществах происходит после одинакового числа взаимодействий, то отсюда следует, что из тяжелых ядер выходит в среднем большее число ядерно-активных частиц.

При рассмотрении возможных механизмов внутриядерного каскадного процесса нельзя считать исключенным влияние того обстоятельства, что с одним нуклоном взаимодействует несколько ядерно-активных частиц, рожденных в том же ядре и разлетающихся под малым углом.

Авторы выражают свою благодарность В. И. Векслеру и Н. А. Добротину за участие в обсуждении работы и Ф. О. Храменкову за помощь в проведении измерений.

Физический институт им. П. Н. Лебедева  
Физико-технический институт  
Академии наук Узб. ССР

Поступило  
25 IX 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. Г. Биргер, В. И. Векслер, Н. А. Добротин и др., ЖЭТФ, 19, 826 (1949). <sup>2</sup> М. И. Подгоревский, ЖЭТФ, 21, 1097 (1951). <sup>3</sup> С. А. Азимов, Б. Ф. Вишневский, Н. И. Хилько, ДАН, 78, 231 (1951). <sup>4</sup> А. Н. Горбунов, ЖЭТФ, 19, 1076 (1949).