

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБЕГА ПОГЛОЩЕНИЯ ПОТОКА ЭНЕРГИИ В ЯДЕРНЫХ КАСКАДАХ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 1+20 Тэв

Н. Г. БОЯДЖЯН, М. И. КЕРОПЯН, Э. А. МАМИДЖАНЫН

Определена величина пробега поглощения потока энергии в ядерно-электронных каскадах в железе в области энергий 1+20 Тэв. Показано, что лени, генерированные в железе „первичными“ адронами (одиночными) и адронами в ШАЛ, совпадают. Интерпретируется слабая зависимость пробега поглощения от энергии.

В работе [1] одного из авторов была исследована энергетическая зависимость пробега поглощения потока энергии  $L_{ahFe}(E)$  в ядерных каскадах, генерированных в железных фильтрах ионизационного калориметра одиночными адронами в диапазоне энергий от 50 Тэв до 5 Тэв. Достаточный статистический материал (около 3000 событий) позволил аккуратно установить аналитический вид экспериментальной энергетической зависимости  $L_{ahFe}(E)$  в указанной области. Для больших глубин в калориметре ( $t > 15$  рад. ед.) имеет место

$$L_{ahFe}(E) = (-67 \pm 6) + (118 \pm 9) \lg(E), \quad (1)$$

где  $E$  выражено в Тэв, а  $L_{ahFe}(E)$  — в г см<sup>-2</sup>.

При малых энергиях  $E \ll 1$  Тэв поправки на пороговые эффекты в ионизационных камерах и передачу энергии „первичных“ адронов сильно ионизирующим частицам велики и рост  $L_{ahFe}(E)$  с увеличением  $E$  в основном обусловлен этими эффектами. При больших энергиях ( $E \sim 1$  Тэв) указанные поправки существенно меньше. Оба эти эффекта были количественно оценены и учтены при нахождении  $L_{ahFe}(E)$ . Как показывает анализ экспериментальных данных, при энергиях  $E \geq 2$  Тэв вклад сильно ионизирующих частиц в суммарную ионизацию калориметра меньше 10% и его влиянием при определении  $L_{ahFe}$  можно пренебречь.

Для теоретической интерпретации зависимости  $L_{ahFe}(E)$  весьма желательно получить ее вид при более высоких энергиях — десятках и сотнях Тэв. Необходимость исследований при более высоких энергиях обусловлена еще необычными данными по росту  $L_{ahFe}$ , полученными в свинцовом калориметре.

Однако имеющийся у нас экспериментальный материал по адрон-ядерным взаимодействиям, полученный на большом арагацском калориметре в сочетании с пропорциональными камерами [2] и годоскопом из газоразрядных счетчиков [3] в период с 1967 по 1973 год, не позволял продвинуться выше энергии 5 Тэв. Поэтому мы использовали более старый экспериментальный материал по широким атмосферным ливням, набранный на том же ионизационном калориметре [4]. Годоскоп установки позволял оценить число частиц в ШАЛ, падаю-

ших на ионизационный калориметр, в диапазоне от  $1 \cdot 10^3$  до  $6 \cdot 10^5$  частиц [5].

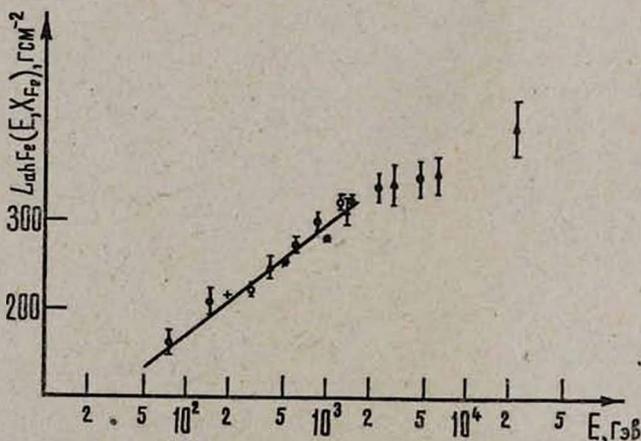
В табл. 1 представлены использованные экспериментальные данные. Отбирались события с энерговыделением, превышающим  $0,6$  Тэв, и числом частиц больше  $10^3$  с единственным максимумом по ионизации в верхних рядах ионизационных камер на расстоянии не менее  $50$  см от краев установки.

Таблица 1

Интервал энергии (Тэв)	Средняя энергия (Тэв)	Число событий	$L_{ahFe}$ ( $1 \text{ см}^{-2}$ )
1,0 ÷ 2,0	1,38	691	$311 \pm 16$
2,0 ÷ 4,0	2,00	267	$343 \pm 21$
4,0 ÷ 10,0	6,25	253	$354 \pm 22$
больше 10,0	22,3	193	$406 \pm 29$

Всего было проанализировано 1404 события, на основе которых по выбранным интервалам энергии были определены  $L_{ahFe}(E)$  для больших глубин калориметра  $X > 15$  рад. ед. Эти величины приведены в последнем столбце таблицы.

На рисунке приведены экспериментальные точки  $L_{ahFe}(E)$  для одиночных адронных событий [1] и адронов в ШАЛ. Для области энергий  $1-2$  Тэв (соответственно  $\langle E \rangle = 1,43$  и  $1,38$  Тэв) учтены



Энергетическая зависимость  $L_{ahFe}(E, X_{Fe})$  для одиночных адронов и адронов в ШАЛ: —  $\bullet$  — настоящая работа, одиночные адроны, эксперимент;  $\triangle$  — настоящая работа, адроны ШАЛ, эксперимент; + — данные [8]; \* — расчет Монте-Карло;  $\circ$  — данные [9], одиночные адроны, эксперимент.

поправки на сильно ионизирующие частицы. Можно с большой достоверностью утверждать, что в перекрываемой энергетической области

1-5 Тэв зависимость  $L_{ahFe}(E)$  для одиночных адронов и адронов в ШАЛ совпадают. При больших энергиях регистрировались только ШАЛ.

Если проанализировать результаты [1] (см. формулу (1)) и результаты настоящей работы (см. рисунок), то можно сделать следующие выводы.

1. В области энергий 50 Гэв + 1 Тэв величина  $L_{ahFe}(E)$  монотонно растет.

2. В энергетической области 1-20 Тэв рост  $L_{ahFe}(E)$  существенно замедляется из-за уменьшающегося вклада  $\eta(E)$  — доли энергии, переданной „первичным“ адроном в акте взаимодействия малоэнергичным вторичным заряженным частицам  $S_i(\beta_L < 0,7)$  и сильно-ионизирующим  $h$ -частицам — продуктам ядерных расщеплений. Эти частицы, обычно не детектируемые явным образом, являются распадными продуктами фрагментов. Согласно определению имеем

$$\eta(E, A) = \frac{1}{E} [\langle n_{S'} \rangle (E, A) \langle \varepsilon_{S'} \rangle (E, A) + \langle n_h \rangle (E, A) \langle \varepsilon_h \rangle (E, A)] = \frac{1}{E} (E_{S'} + E_h), \quad (2)$$

где  $E$  — энергия первичного адрона в  $L$ -системе, упавшего на ядро атомов вещества,

$$E_{S'} = \langle n_{S'} \rangle \langle \varepsilon_{S'} \rangle, \quad E_h = \langle n_h \rangle \langle \varepsilon_h \rangle,$$

$\langle \varepsilon_{S'} \rangle$  и  $\langle \varepsilon_h \rangle$  — средние величины энергии в  $L$ -системе, приходящейся на одну ливневую и одну сильно-ионизирующую частицу.

Формулу (2) можно переписать следующим образом:

$$\eta(E, A) = \eta_{S'}(E, A) + \eta_h(E, A). \quad (2')$$

В состав малоэнергичных  $n_{S'}$ -частиц входят ливневые частицы (протоны, пионы) с нерелятивистскими значениями  $\beta_L$ . Обычно за предельное значение  $\beta_L$  принимают 0,7.

Можно показать, что  $\eta(E)$  связано с пробегом  $L_a$  следующим образом:

$$\eta(E, A) = \text{const } e^{-\frac{\lambda'}{L_a(X < X', E)}} \frac{L_a(X_m < X < X', E) - L_a(X > X', E)}{L_a(X_m < X < X', E)},$$

где  $X'$  — глубина излома усредненного ядерно-электронного каскада, отсчитываемая от максимума  $X_m$  ливня.

Если считать, что при больших энергиях ( $E \gg 1$  Тэв) эффект масс сталкивающихся частиц исчезает и энергетические зависимости основных характеристик адрон-ядерного процесса, таких как сечение неупругого взаимодействия и коэффициент неупругости, идентичны для разных  $A$ , то можно пересчитать экспериментальные данные [6], полученные для свинцового калориметра, к случаю железа в области энергий  $E \gg 2$  Тэв. Результаты пересчета приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Энергия адрона (Тэв)	$L_{ahFe}(E, X_{Pb})$ (1 см <sup>-2</sup> )	$L_{ahFe}(E, X_{Fe})$ (1 см <sup>-2</sup> )
2 (одиночные адроны)	690±30	406±20
9 (одиночные адроны)	690±35	406±20
11,5 (адроны ШАЛ)	690±30	406±18
20 (одиночные адроны)	700±85	417±46
30 (адроны ШАЛ)	690±60	406±36
40 (адроны ШАЛ)	700±30	412±18
47 (одиночные адроны)	680±120	400±70
67 (адроны ШАЛ)	750±30	444±18
91 (адроны ШАЛ)	795±100	468±59

Величины  $L_{ahPb}(E, X_{Pb})$  по результатам [6] и, следовательно, пересчитанные данные  $L_{ahPb}(E, X_{Fe})$  не зависят от энергии  $E$  в интервале 2+50 Тэв. Сравнение пересчитанных точек с экспериментальными, полученными нами в  $Fe$ , показывает, что они совпадают при энергиях  $\approx 10$  Тэв. Иными словами, насыщение энергетической независимости  $L_{ahFe}(E)$  в случае  $Fe$ , если оно действительно имеет место, наступает при больших энергиях ( $> 10$  Тэв), чем в случае свинца ( $E \sim 2$  Тэв). Указанная разница может быть обусловлена только различным характером  $A$ -зависимости параметра  $L_{ahFe}(E)$  при  $E \gg 20$  Тэв и  $E \ll 20$  Тэв. Этот результат, в частности, не согласуется с предсказанием модели  $EFC$  [7].

В заключение выражаем благодарность Х. П. Бабяну за предоставление экспериментальных данных по установке [5].

Ереванский физический институт

Поступила 9.III.1977

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Керопян. Научное сообщение ЕФИ-21 (24), 1977.
2. Х. П. Бабян и др. Изв. АН АрмССР, Физика, 5, 458 (1970).
3. Э. А. Мамиджанян и др. Изв. АН АрмССР, Физика, 7, 221 (1972).
4. Н. Г. Бояджян, Э. А. Мамиджанян. Изв. АН СССР, сер. физ., 32, 456 (1968).
5. Х. П. Бабян и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 30, 1617 (1966).
6. V. S. Azeikin et al. Proc. of the XIV-th Int. Conf. on C. R., München, 7, 2463, 1975.
7. R. Gottfried. Phys. Rev. Lett., 32, 265 (1972).
8. B. C. Barish. Calif. inst. of Techn. Report, № 68-410, 1973.
9. А. Е. Морозов, С. А. Славятинский, И. И. Фетисов. Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 2022 (1971).

ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ԿԱՍԿԱԴՆԵՐՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՀՈՍՔԻ ԿԼԱՆՄԱՆ  
ՎԱՋՔԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ 1÷20 ՏԷՎ ԷՆԵՐԳԻԱՆՆԵՐԻ ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ

Ն. Դ. ԲՈՅԱԶՅԱՆ, Մ. Ի. ՔԵՐՈՔՅԱՆ, Է. Ա. ՄԱՄԻԶՅԱՆՆ

Որոշված է երկաթում առաջացող միջուկա-էլեկտրոնային կասկադներում էներգիայի հոսքի կլանման վազքի երկարությունը 1÷20 ՏԷՎ էներգիաների տիրույթում: Ցույց է տրված, որ երկաթում «առաջնային» ադրոնների կողմից առաջացած և լայն մթնոլորտային հեղեղների ադրոններով առաջացրած հեղեղները համընկնում են: Բացատրվում է կլանման վազքի թույլ կախումը էներգիայից:

DETERMINATION OF THE ABSORPTION LENGTH OF ENERGY  
FLUX IN NUCLEAR CASCADES FOR 1+20  $T_eV$  ENERGIES.

N. L. BOYADZHANYAN, M. I. KEROPYAN, E. A. MAMIDZHANYAN

The value of the absorption length of energy flux in nuclear-electron cascades in iron is determined for 1÷20  $T_eV$  energies. The showers generated in iron by "primary" (single) hadrons and wide atmospheric shower hadrons are shown to coincide. The weak energy dependence of the absorption length is discussed.