

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

A874

P2-87-504

Г.Х.Архестов, Х.М.Бештоев\*

МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СПЕКТРОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ  
ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ  
ОТ ПЕРВИЧНЫХ ЧАСТИЦ С  $E = 10^2 \div 10^7$  ГэВ

\*Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

## I. Введение

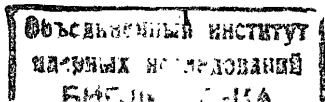
В последнее время появились экспериментальные данные /1/ по изучению структуры широких атмосферных ливней (ШАЛ) на малых расстояниях от оси ливней. В связи с этим представляет интерес расчет трехмерных ядерно-электромагнитных ливней с учетом характеристик установки для анализа экспериментальных данных. В настоящее время существует много моделей расчета ядерных и электромагнитных ливней в атмосфере /2/, которые достаточно хорошо описывают и, соответственно, позволяют интерпретировать экспериментальные данные по спектру ядерно-активных частиц, спектру мюонов и т.д.

В предлагаемой работе в качестве модели расчета характеристик электромагнитных ливней использовалась монте-карловская программа /3/ трехмерного розыгрыша ядерно-электромагнитных ливней в атмосфере, основанная на экстраполяции ускорительных данных на сверхвысокие энергии.

Работа посвящена расчету распределений центральных плотностей (электромагнитных частиц) при интегрировании по радиусам  $R \approx 0,4$  м и  $R \approx 0,8$  м и спектра по полному числу частиц в ливне от первичных протонов с  $E_p \approx 10^2 + 10^7$  ГэВ. Проводится сравнение с экспериментальными данными.

## 2. Основные характеристики модели

Первичный протон вылетает в стандартную атмосферу /4/, в которой происходит взаимодействие по обычному экспоненциальному закону /2/. Зависимость средней множественности заряженных час-



тиц от энергии бралась в логарифмическом виде /5/, а множественность распределена по формуле Коби-Нельсена /6/. В каждом акте взаимодействия требовалось сохранение энергии и импульса. Считалось, что частицы рождаются в двух областях - фрагментационной и пионизационной. Средние множественности в этих областях брались из /5/ и /7/. Энергетический спектр вторичных частиц выбирался согласно работе /8/, а распределение поперечных импульсов было экспоненциальным для  $P_{\perp} \leq 1$  ГэВ/с, при  $P_{\perp} > 1$  ГэВ/с учитывался рост поперечного импульса /9/. Интегральный энергетический спектр первичных протонов имел вид

$$I(E_p) = 0,856 E_p^{-1,7} \text{ (см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{ ср}^{-1}\text{)}. \quad (1)$$

В наших расчетах, при прохождении протона через атмосферу, отличие взаимодействия с ядрами атомов воздуха от взаимодействия с нуклонами не учитывалось из тех соображений, что основная доля  $\pi^0$ -мезонов, которые дают электромагнитные каскады, из-за крутого спектра первичных протонов (1) лежат в области  $X \approx 0,1 + 0,4$ . А в этой области  $X$  отношение /5/

$$\frac{1}{G_{air}^{in}} \frac{dG_{air}(x)}{dx} / \frac{1}{G_p^{in}} \frac{dG_p(x)}{dx}$$

мало отличается от единицы.

### 3. Схема розыгрыша ливней

В результате взаимодействия протона с ядром атома воздуха рождаются  $\pi$ -мезоны (предполагается, что рождаются только  $\pi^+$ ). Согласно изотопической инвариантности третья часть  $\pi$ -мезонов считается  $\pi^0$ , которые являются инициаторами электромагнитных каскадов. Пространственное распределение частиц в этих каскадах описывается функцией Нипшмури-Камати в аппроксимации Грайзена /10/.

$$f(R, R_0, S) = C(S) \left(\frac{R}{R_0}\right)^{S-2} \left(1 + \frac{R}{R_0}\right)^{S-4,5}, \quad (2)$$

$R_0 = 95$  м для уровня наблюдения 840 г (высота 1700 м).

$$\int f(R, R_0, S) R dR = 1.$$

Возраст ливня  $S$  определяется по формуле /10/

$$S = \frac{3t}{t + 2\left(\frac{E}{\beta}\right)}, \quad (3)$$

где  $t = T/37, I$ ;  $\beta = 0,081$  ГэВ.

Число частиц в электромагнитных ливнях определялось по формуле

$$N = \frac{0,31}{\sqrt{\ln(E/\beta)}} \exp t \cdot (1 - 3/2 \ln S), \quad (4)$$

$$F(N, R, R_0, S) = N \cdot f(R, R_0, S).$$

Учитывался переходной эффект, связанный с наличием бетонной крыши над установкой и толщиной стенки емкости, в которой находится сцинтиллятор /11/:

$0,4 \leq S \leq 1,35$	$R$ (м)	$S < 0,4, S > 1,35$
$F(R) = 5,1 - 1,4R$	$0 \leq R \leq 1,5$	$0 \leq R \leq 4,5$
$F(R) = 3,9 - 0,6R$	$1,5 < R \leq 2,5$	$f(R, S) = \frac{5,12 \cdot R^{(0,178S-0,51)}}{4,18^S}$
$F(R) = 3,525 - 0,45R$	$2,5 < R \leq 3,5$	
$F(R) = 3,35 - 0,4R$	$3,5 < R \leq 4,5$	при $R > 4,5$
$F(R) = 2,45 - 0,2R$	$4,5 < R \leq 5,5$	$f(R, S) = F(R)$
$F(R) = 2,25 - 0,15R$	$5,5 < R \leq 8,5$	
$F(R) = 0,95$		(5)

Установка представляет собой сплошной "ковер" из 400 детекторов, имеющих размеры 0,7 м х 0,7 м /12/. Показания каждого детектора выдаются в виде целых чисел  $N$  от 0 до 36 (далее происходит насыщение детектора), которые переводятся в числа частиц по формуле

$$M = 9 \cdot (1,25)^{N-1}. \quad (6)$$

Использовалось выражение для дисперсии каждого детектора, полученное при изучении реальных ливней /13/:

$$\left(\frac{\sigma}{M}\right)^2 = \frac{1}{M} + 0.0169 + (N-1)^2(4 \cdot 10^{-2})^2 + \frac{1}{3} \left[ \frac{(2-S) \cdot 0.35}{R} \right]^2, \quad (7)$$

где первый член учитывает пуассоновские флуктуации плотности, а остальные слагаемые описывают разброс индивидуальных детекторов по порогу и наклону характеристики логарифмического преобразователя, а также дискретность шага преобразователя и размер самого детектора.

$$M' = M + \sqrt{6} A_1,$$

где  $A_1$  - случайное число, задаваемое гауссовским распределением.

#### 4. Результаты розыгрыша

По методике, описанной в разделе 3, был произведен розыгрыш ядерно-электромагнитных каскадов в атмосфере. Находилось распределение центральных плотностей при разных радиусах интегрирования (по площади), чему соответствовало суммирование плотностей по различному числу детекторов.

На рис. 1 и 2 приводятся распределения плотностей  $N_1$  (один детектор, радиус интегрирования  $\sim 0,4$  м),  $N_4$  (сумма плотностей в четырех максимальных детекторах,  $R \approx 0,8$  м) и  $N_c$  (спектр по полному числу частиц в ливне). Отбор ливней производился по большому энерговыделению на площади с  $R \approx 0,4$  м (это соответствует выбору одного детектора с большим энерговыделением).

Пороги энерговыделения выбирались следующие:

- $6 \leq N < 13$
- $13 \leq N < 17$
- $17 \leq N < 20$
- $20 \leq N < 24$
- $24 \leq N < 29$
- $29 \leq N < 36$
- $N \geq 36$

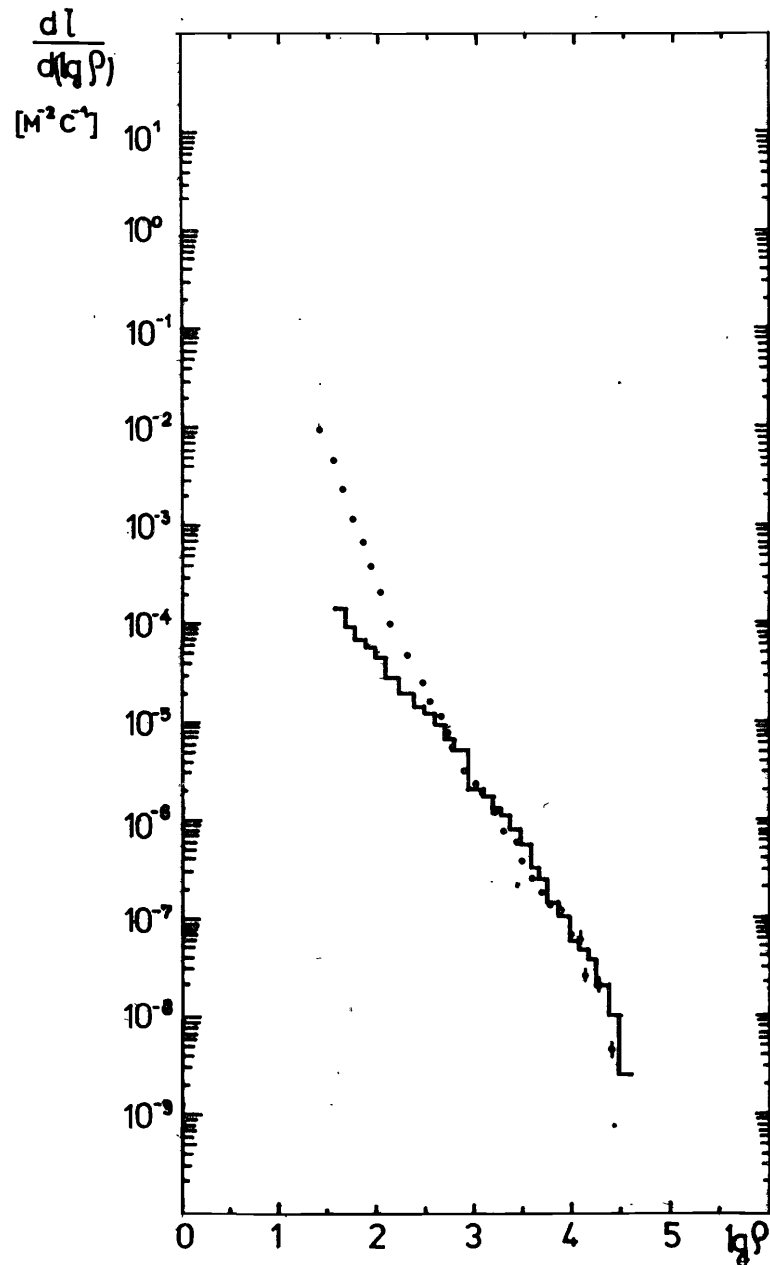


Рис. 1. Дифференциальный спектр центральных плотностей  $N_1$  ( $R \approx 0,4$  м). Точки - данные из /1/, гистограмма - наш расчет.

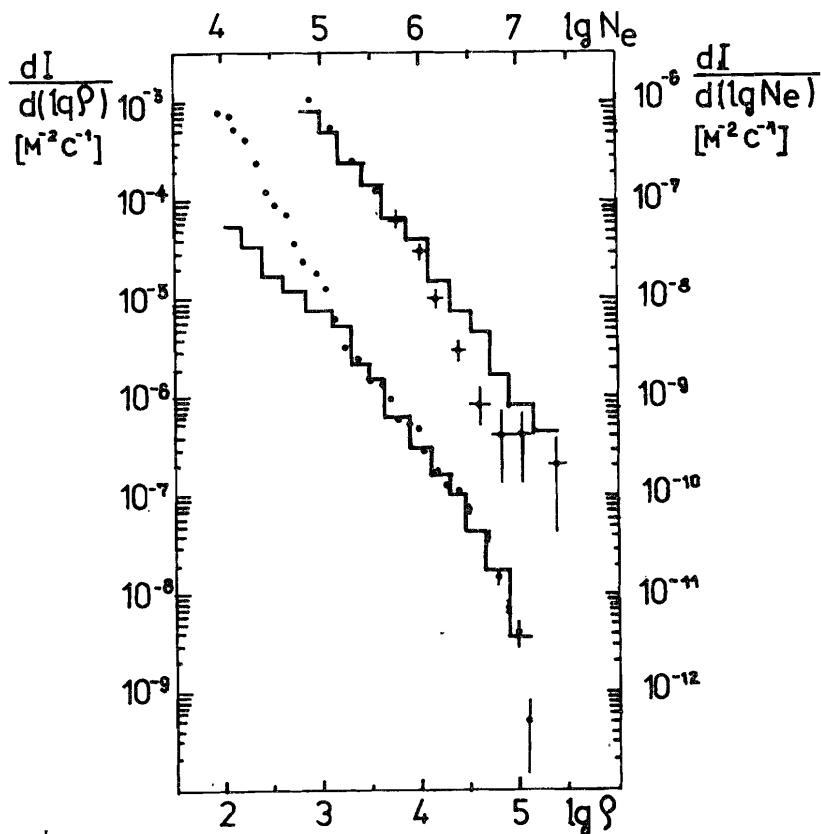


Рис. 2. Дифференциальный спектр центральных плотностей  $N_e$  ( $R \approx 0,8$  м) (левая шкала) и дифференциальный спектр ливней по числу частиц (правая шкала). Точки - данные из /1/, гистограмма - наш расчет.

где  $N$  определяется по формуле (6). На рис. 1 и 2 точки - экспериментальные данные из /1/ (перенормированные на множитель  $I / \lg I, 25$ , который был добавлен при переходе от распределения по  $\rho$  к распределению по  $\lg \rho$ ), гистограмма - наш расчет. Результаты расчета находятся в согласии с экспериментальными данными, за исключением области малых  $\lg \rho$ . Такое расхождение связано с тем, что использованная нами функция Нисимуры-Камати-

Грайтзена (2) плохо работает при малых энергиях, поэтому нужно производить точный расчет электромагнитных ливней. При интегрировании по телесному углу в выражении (1) эффективный телесный угол, наблюдаемый на установке /1/, брался равным  $I,7$  ср.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Т.Зацепину и А.Е.Чудакову за обсуждение программы, по которой производились расчеты, В.С.Барашенкову, Д.Д.Джашуеву, В.А.Тизенгаузену за обсуждение работы.

#### Литература

1. Д.Д.Джашуев и др. Изв. АН СССР, сер. физ. 49(1985), с.1359.
2. S.Matsuno et al. Phys. Rev., D29 (1984), p.1;  
J.A.Coldman et al. Phys.Rev., D26(1982), p.1043;  
J.W.Elbort, T.K.Gaisner, T.Stanev. Phys.Rev., D27(1983), p.1448;  
И.П.Иваненко, Б.Л.Каневский, Т.М.Роганова. ЯФ, 29, (1979), с.694;  
А.М.Дунаевский, А.В.Урысон. Препринт ФИАН № 150, Москва, 1975;  
Т.В.Данилова, А.Д.Ерлыкин, С.К.Мачавариани. Вопросы атом. науки и тех., серия тех. физ. экспер., 37 (1985) № 5.
3. Г.Х.Архестов, Х.М.Бештоев. Препринт ИЯИ АН СССР, П-507, Москва, 1986.
4. В.С.Мурзин. Физика космических лучей. МГУ (1970).  
Справочник. Таблицы физических величин. Москва, 1971.
5. В.Г.Гришин. ЭЧАЯ, 7 (1976), с.595;  
В.В.Анисович и др. УФН, 144 (1984), с.553.
6. Z.Koba, N.V.Nielsen, P.Olesen. Nucl.Phys., B40(1972), p.317;  
P.Slattery. Phys.Rev., D7 (1973), p.2073.
7. B.Vgar. Phys.Rev., D17 (1978), p.2483;  
J.W.Lasna et al. Phys. Rev., D18 (1978), p.3933.

8. В.Н. Kellet et al. Nuovo Cim., 41A (1977), p. 331, 359;  
47A (1978), p. 281.
9. G. Jarlskog. XV Int. Conf. on High En. Phys., London, 1974;  
K. H. Hansen XIX Int. Conf. on High En. Phys., Tokyo, 1978,  
p. 117.
10. С. Хаякава. Физика космических лучей. М.: Мир, 1973, т. I.
11. В. А. Тизенгаузен, А. Е. Чудаков. Препринт ИЯИ АН СССР,  
П-0098, Москва, 1978.
12. В. Н. Алексеjev et al. Proc XIV th ICRC, v. 8 (1975), p. 2996;  
Е. Н. Алексеев и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 40 (1976), с. 1046.
13. В. Н. Алексеjev et al. Proc XV th ICRC, v. 8 (1977), p. 52.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 июля 1987 года.

Архестов Г. Х., Бештоев Х. М. P2-87-504  
Моделирование спектров центральных  
плотностей широких атмосферных ливней  
от первичных частиц с  $E = 10^2 \div 10^7$  ГэВ

Произведены расчеты распределений центральных плотностей /электромагнитных частиц/ при интегрировании по радиусам  $R \approx 0,4$  м и  $R \approx 0,8$  м и спектра по полному числу частиц в ливне от первичных частиц с  $E = 10^2 \div 10^7$  ГэВ. Проводится сравнение с экспериментальными данными.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод Т. Ю. Думбрайс

Arkhestov G. Kh., Beshtoev Kh. M. P2-87-504  
Modelling of Central Density Spectra of EAS  
from Incident Particles with  $E = 10^2 \div 10^7$  GeV

Calculations are made for the distributions of central densities (of electromagnetic particles) by integrating over radii  $R \approx 0.4$  m and  $R \approx 0.8$  m and the spectrum over the total number of particles in a shower of incident particles with  $E = 10^2 \div 10^7$  GeV. Comparison with experiment is presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987