

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С-482

11/11-75

P1 - 9198

4628/2-75

Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ  $\bar{N}_{\max}$  И  $\bar{t}_{\max}$   
ОТ ЭНЕРГИИ В ЛИВНЯХ,  
СОЗДАНЫХ ГАММА-КВАНТАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ  $E_{\gamma} = 1600 \div 3400$  МЭВ  
В ЖИДКОМ КСЕНОНЕ

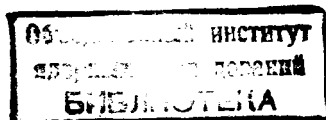
**1975**

P1 - 9198

Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ  $\bar{N}_{\max}$  И  $\bar{t}_{\max}$   
ОТ ЭНЕРГИИ В ЛИВНЯХ,  
СОЗДАНЫХ ГАММА-КВАНТАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ  $E_{\gamma} = 1600 \div 3400$  МЭВ  
В ЖИДКОМ КСЕНОНЕ

*Направлено в ПТЭ*



Изучение экстремальных характеристик электронно-фотонных ливней, таких, как положение максимума, число частиц в максимуме ливня и соответствующие дисперсии, имеет широкое прикладное значение. В частности, представляет интерес возможность определять с достаточной точностью энергию гамма-квантов по числу частиц в максимуме создаваемых ими в веществе ливней. Практическая применимость такого метода относится в случае пузырьковых камер, наполненных жидким ксеноном, к области энергий гамма-квантов примерно 2 ГэВ и выше. Полученные результаты могут найти применение и при исследовании широких атмосферных ливней космических лучей.

В настоящей работе проведен анализ зависимости числа частиц в максимуме ливней и положения максимума от энергии гамма-квантов, инициирующих ливни в жидком ксеноне, в интервале энергий 1600-3400 МэВ. Проведено экспериментальное определение флуктуаций числа частиц и положения максимума в лавинах. Работа выполнена на снимках с ксеноновой пузырьковой камеры ИТЭФ объемом 180 литров.

### 1. Описание эксперимента

В результате просмотра стереофотографий со 180-литровой ксеноновой пузырьковой камеры ИТЭФ, облученной в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 3,5 ГэВ/с, было отобрано 177 случаев электронно-фотонных лавин, вызванных гамма-квантами с энергией  $E_\gamma = 1600 - 3400$  МэВ. Энергия первичных гамма-квантов определялась по известной зависимости между суммарным пробегом ливневых электронов и энергией  $E_e^{2.7}$ . В каж-

дом выбранном случае было определено число наблюдаемых следов заряженных частиц в максимуме ливня и положение максимума. При этом в качестве минимальной длины следов ливневых электронов и позитронов /далее в тексте: электронов/ принята длина 5 мм, что соответствует энергии обрезания  $E_0 = 1,5$  МэВ. Более подробно методика анализа электронно-фотонных ливней на снимках с ксеноновых пузырьковых камер описана в наших более ранних публикациях <sup>/3/</sup>.

## 2. Экспериментальные данные и обсуждение

На рис. 1 изображено двумерное распределение 177 случаев ливней в зависимости от числа частиц в максимуме,  $N_{\max}$ , и суммарного пробега ливневых электронов,  $\Sigma r$ . Зависимость среднего значения  $\bar{N}_{\max}$  числа частиц в максимуме ливней, усредненного по интервалу энергии первичных гамма-квантов  $\Delta E_\gamma = 250$  МэВ, от

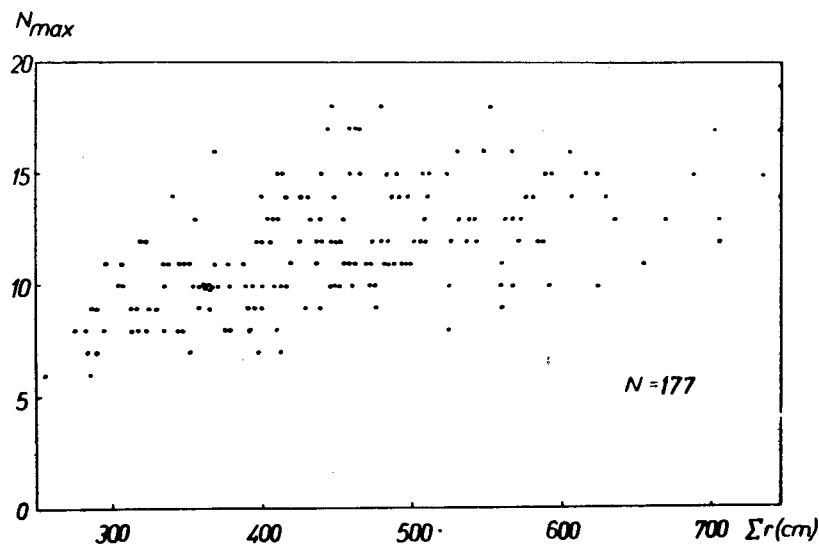


Рис. 1. Распределение случаев электронно-фотонных ливней в зависимости от суммарного пробега ливневых электронов,  $\Sigma r$ , и числа частиц в максимуме,  $N_{\max}$ . Ливни образованы гамма-квантами с энергией  $E_\gamma = 1600-3400$  МэВ в жидком ксеноне.

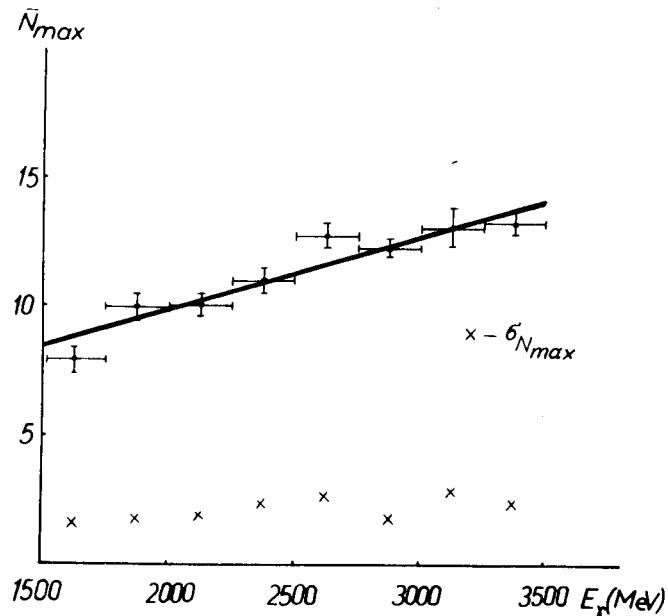


Рис. 2. Зависимость среднего значения числа частиц в максимуме,  $N_{\max}$ , от энергии  $E_\gamma$  гамма-квантов, образующих ливни в жидком ксеноне. Сплошной линией нанесена функция /1/, аппроксимирующая экспериментальные точки,  $\times$  - значения дисперсий числа частиц в максимуме ливня  $\sigma_{N_{\max}}$ .

энергии  $E_\gamma$  представлена на рис. 2. Там же нанесены значения дисперсии  $\sigma_{N_{\max}}$  числа  $N_{\max}$  для восьми интервалов энергий гамма-квантов, инициирующих ливни.

На рис. 3 приведено двумерное распределение всех случаев лавин в зависимости от расстояния  $t_{\max}$ , отсчитываемого от точки конверсии первичного гамма-кванта до положения максимума ливня, и в зависимости от величины суммарного пробега  $\Sigma r$  ливневых электронов. При этом, если случай лавины характеризовался, например, двумя максимумами, то он отложен дважды. Случай с двумя максимумами составляли 6,8% всех событий, с тремя - 1,1%. Зависимость среднего значения  $\bar{t}_{\max}$  длины  $t_{\max}$ , усредненного по интервалам энергии  $\Delta E_\gamma = 250$  МэВ, дана на рис. 4. На этом же рисунке нанесены значения соответствующих дисперсий  $\sigma_{t_{\max}}$ .

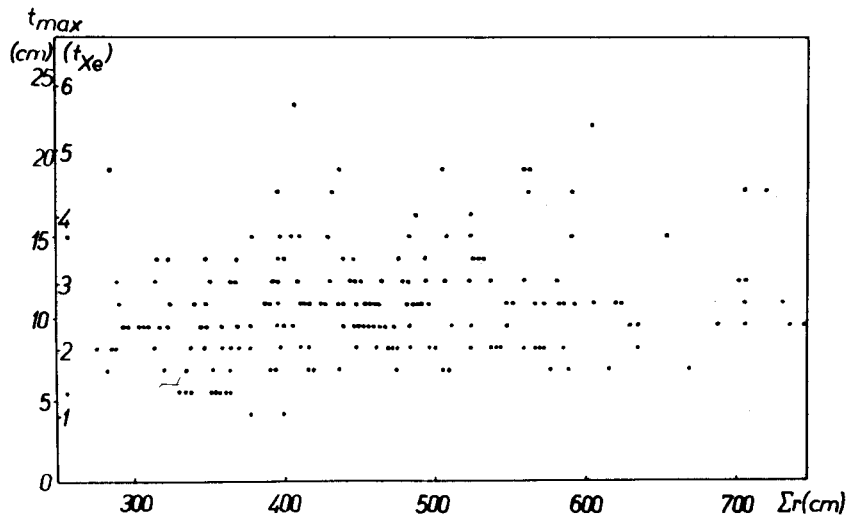


Рис. 3. Распределение случаев электронно-фотонных лавин в зависимости от суммарного пробега лавиновых электронов,  $\Sigma r$ , и положения максимума лавины,  $t_{max}$

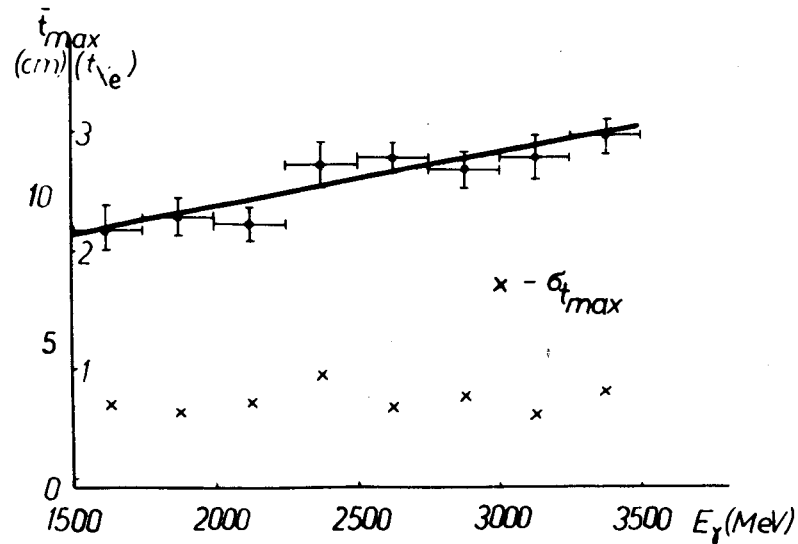


Рис. 4. Зависимость среднего значения положения максимума лавины  $t_{max}$  от энергии  $E_\gamma$  гамма-квантов, иницирующих электронно-фотонные лавины в жидком ксеноне. Сплошной линией нанесены значения функции /2/, аппроксимирующей экспериментальные точки. x - значения дисперсий положения максимума  $\sigma_{t_{max}}$

Таблица

Средние значения числа частиц в максимальной лавине,  $N_{max}$ , и положения максимума,  $t_{max}$ , а также соответствующие дисперсии  $\sigma_{N_{max}}$  и  $\sigma_{t_{max}}$  для лавин, вызванных гамма-квантами с энергией  $E_\gamma$  в заданном ксеноне.  $N_f$  - число случаев лавин

$E_\gamma$ (MeV)	1625-125	1875-125	2125-125	2375-125	2625-125	2875-125	3125-125	3375-125
$N_f$	10	17	23	27	28	27	12	38
$N_{max}$	$7.90 \pm 0.48$	$9.94 \pm 0.42$	$10.04 \pm 0.38$	$11.09 \pm 0.45$	$12.86 \pm 0.50$	$12.87 \pm 0.38$	$13.17 \pm 0.80$	$13.39 \pm 0.41$
$\sigma_{N_{max}}$	1.52	1.73	1.82	2.34	2.65	1.71	2.77	2.89
$t_{max}$ (cm)	$8.79 \pm 0.68$	$9.22 \pm 0.61$	$9.01 \pm 0.60$	$11.06 \pm 0.74$	$11.31 \pm 0.50$	$10.91 \pm 0.60$	$11.36 \pm 0.71$	$12.06 \pm 0.57$
$\sigma_{t_{max}}$ (cm)	3.79	2.55	2.88	3.86	2.70	3.12	3.47	3.27

Численные значения  $\bar{N}_{\max}$ ,  $\bar{t}_{\max}$ , а также  $\sigma_{N_{\max}}$  и  $\sigma_{t_{\max}}$ , относящиеся к восьми значениям энергии  $E_{\gamma}$  гамма-квантов, образующих линии, приведены в таблице. Там же указаны числа  $N_{\gamma}$  выбранных случаев лавин, характеризующихся энергией  $E_{\gamma}$ .

Оказалось, что полученную экспериментально зависимость между средним значением числа частиц в максимуме ливней  $\bar{N}_{\max}$  и энергией гамма-квантов можно удовлетворительно аппроксимировать линейной функцией:

$$\bar{N}_{\max} = a + b \cdot E_{\gamma}, \quad /1/$$

где:  $a = 3,99 \pm 0,70$ ;  $b = /2,925 \pm 0,276/ \text{ ГэВ}^{-1}$ . При этом  $\chi^2 = 11,56$  при 7 степенях свободы.

Аналогичная функция хорошо описывает зависимость среднего значения положения максимума ливня,  $t_{\max}$ , от энергии первичного гамма-кванта  $E_{\gamma}$ :

$$\bar{t}_{\max} = a + \beta \cdot E_{\gamma}, \quad /2/$$

где  $a = /5,7 \pm 1,0/ \text{ см}$ ,  $\beta = /1,9268 \pm 0,0004/ \text{ ГэВ}^{-1}$ ,  $\chi^2 = 4,66$  при 7 степенях свободы.

Функции /1/ и /2/ графически изображены также на рисунках 2 и 4 соответственно. Следует отметить, что линейная зависимость между  $\bar{N}_{\max}$  и  $E_{\gamma}$  находится в полном согласии с предсказаниями теории электронно-фотонных ливней, в то время как  $\bar{t}_{\max} \sim \ln E_{\gamma}^{1/4}$ .

Значения дисперсии числа частиц в максимуме,  $\sigma_{N_{\max}}$ , проявляют тенденцию к возрастанию с увеличением энергии  $E_{\gamma}$ , в то время как дисперсия положения максимума,  $\sigma_{t_{\max}}$ , остается примерно постоянной в изученном интервале энергий гамма-квантов, вызывающих ливни. Интересно подчеркнуть, что относительная дисперсия  $\sigma_{N_{\max}} / \bar{N}_{\max}$  равна примерно 0,20 и практически не зависит от энергии  $E_{\gamma}$ .

Авторы благодарны Т.Канареку за помощь при вычислениях параметров аппроксимирующих функций.

## Литература

1. Б.Ничипорук, З.С.Стругальский. Препринт ОИЯИ, 1989, Дубна, 1965.
2. З.С.Стругальский. Препринт ОИЯИ, №796, Дубна, 1961; О.Чижевский, Я.Даным, З.С.Стругальский. Препринт ОИЯИ, Р-1144, Дубна, 1962.
3. Б.Словинский, З.Стругальский, Б.Яблонская. ЯФ, 9, 120 /1969/; Б.Словинский, З.Стругальский, В.Хуберт. ЯФ, 16, 734 /1972/.
4. А.Ромахришман. Элементарные частицы и космические лучи. Изд. Мир, Москва, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 сентября 1975 года.