

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



P1 - 11980

19/III-79

0-927

Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский,
А.Т.Абросимов, А.Н.Ильина, Э.Мулас, В.Чай

912/2-79

ПРОДОЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ
ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ ЛИВНЕЙ,
ВЫЗВАННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ $E_{\gamma} = 875 - 2625$ МЭВ
В ЖИДКОМ КСЕНОНЕ

1978

P1 - 11980

Л.С.Охрименко. Б.Словинский. З.Стругальский.
А.Т.Абросимов.* А.Н.Ильина.* Э.Мулас.** В.Чай**

ПРОДОЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ
ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ ЛИВНЕЙ,
ВЫЗВАННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ $E_{\gamma} = 875 - 2625$ МЭВ
В ЖИДКОМ КСЕНОНЕ

Направлено в ЯФ



* Филиал НИИЯФ МГУ, Дубна .
** Варшавский политехнический институт.

Охрименко Л.С. и др.

P1 - 11980

Продольное развитие электронно-фотонных ливней,
вызванных гамма-квантами с энергией $E_\gamma = 875 - 2625$ МэВ
в жидком ксеноне

Приведены результаты измерений среднего значения и относительной дисперсии доли ионизационных потерь ливневых электронов в электронно-фотонных лавинах, вызванных гамма-квантами с энергией 875-2625 ГэВ в жидком ксеноне. Эксперимент выполнен при помощи ксеноновой пузырьковой камеры, облученной в пучке π -мезонов с импульсом 3,5 ГэВ/с. Результаты даны в виде, удобном для практического использования.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Okhrimenko L.S. et al.

P1 - 11980

Longitudinal Development of Electron-Photon
Showers Induced by γ -Quanta with an
Energy of $E_\gamma = 875 - 2625$ MeV in Liquid Xenon

Results of measurements of the mean value of a fraction of ionization losses of shower electrons in electron photon showers induced by γ -quanta with an energy of $E_\gamma = 875 - 2625$ MeV in liquid xenon and a relative dispersion of these losses are presented. The results are given in the form convenient for practical use.

The investigation has been performed at the
Laboratory of High Energy, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение характеристик электронно-фотонных ливней, вызванных гамма-квантами высоких энергий в плотных средах, представляет значительный интерес с точки зрения развития методики изготовления детекторов гамма-излучения, а также ряда других прикладных областей. При этом существенно иметь возможность довольно быстро получить достаточно точные оценки определенных параметров /например, требуемых линейных размеров детектора, эффективности регистрации, точности определения энергии и т.п./, не прибегая к сложным программам имитирования на ЭВМ каскадного электромагнитного процесса. Имея в виду эти соображения при исследовании электронно-фотонных лавин, мы ввели следующие параметры, не зависящие от свойств конкретной среды, в которой развивается ливень^{1,2}:

$\Delta A = \Delta \Sigma r / \Sigma r$ - доля полных ионизационных потерь ($\Delta \Sigma r$) ливневых электронов, выделяемая в толщине Δd слоя среды /например, жидкого ксенона/, перпендикулярного оси развития лавины / Σr - полный пробег ливневых электронов на всей длине d развития ливня/;

$\sigma_A = \bar{\sigma} / \bar{A}$ - относительная дисперсия параметра $A = \Sigma r(d) / \Sigma r (d \rightarrow \infty)$, соответствующая длине d развития ливня, на которой выделяется (в среднем) доля \bar{A} ионизационных потерь лавинных электронов. Безразмерный параметр A пропорционален также суммарному световому выходу, создаваемому в сцинтилирующей среде электронно-фотонным ливнем, и числу ливневых частиц, наблюдаемых на данной глубине раз-

вития лавины^{1/}. Следовательно, каскадные кривые, выраженные через параметр A , а также зависимость относительных флюктуаций σ_A/\bar{A} от A могут быть использованы в различных методиках детектирования гамма-квантов высоких энергий.

В настоящей работе приведены результаты исследования продольного развития ливня и соответствующих флюктуаций в электронно-фотонных лавинах, вызванных гамма-квантами с энергией $E_\gamma = 875-2625$ МэВ в жидком ксеноне. Работа выполнена с помощью 180-литровой ксеноновой пузырьковой камеры ИТЭФ^{3/} /далее КПК/, облученной в пучке π^- -мезонов с импульсом 3,5 ГэВ/с.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

В результате просмотра около 200 тыс. снимков с КПК было отобрано 225 случаев электронно-фотонных ливней. Методика анализа экспериментального материала описана ранее^{2/}. Числа N_γ проанализированных случаев лавин, соответствующих различным интервалам энергии E_γ инициирующих лавины гамма-квантов, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Числа N_γ проанализированных случаев электронно-фотонных ливней, вызванных гамма-квантами с энергией $E_\gamma \pm 125$ МэВ в жидком ксеноне.

E_γ (МэВ)	875	1125	1375	1625	1875	2125	2375	2625
N_γ	16	34	33	36	41	23	26	16

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Ионизационные потери ливневых электронов

В табл. 2 приведены значения доли ΔA ионизационных потерь ливневых электронов, выделяемой в слое жидкого ксенона толщиной $\Delta d = 0,3368 t_{Xe}$, где t_{Xe} - радиационная единица для жидкого ксенона / $t_{Xe} = 4,05 \pm 0,17^{4/}$ /. Данные соответствуют восьми интервалам значений энергий E_γ гамма-квантов, вызывающих лив-

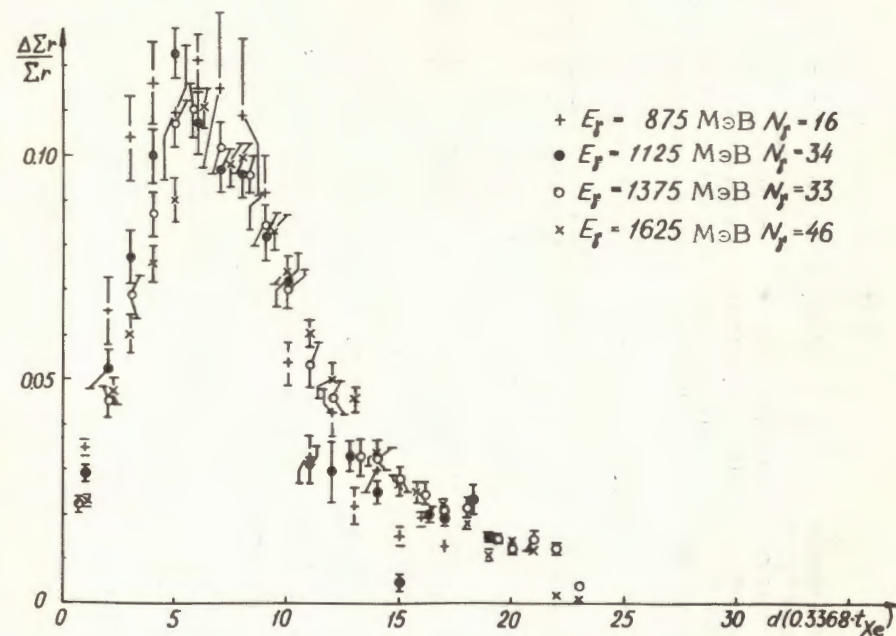


Рис.1. Распределение относительных ионизационных потерь ливневых электронов, $\Delta \Sigma r / \Sigma r$, в зависимости от длины d развития ливня, отсчитываемой от точки конверсии первичного гамма-кванта вдоль оси развития лавины. E_γ - энергия гамма-кванта, инициирующего ливень в жидком ксеноне. N_γ - число проанализированных случаев лавин. Длина развития d выражена в единицах, равных 0,3368 радиационных единиц для жидкого ксенона, t_{Xe} .

Таблица 2

Значения относительной доли полного пробега ливневых электронов, $\Delta\Sigma/\Sigma \cdot 10^3$, наблюдаемой в слое жидкого ксенона толщиной $\Delta d = 1$, перпендикулярном оси d развития лавины, вызванной гамма-квантами с энергией E_γ . Длина d выражена в единицах, равных $0,3368 t_{Xe}$ радиационных единиц t_{Xe} для жидкого ксенона

E_γ/d (МэВ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	25
875	35±2	65±8	104±13	116±11	109±11	121±6	115±11	109±11	92±8	54±5	43±10	30±9	19±7	-	-	-
1125	29±2	52±4	77±6	105±6	123±6	108±7	97±6	96±5	82±6	72±8	54±7	27±3	22±3	24±11	-	-
1375	22±1	45±3	69±5	87±5	107±6	111±6	102±6	96±5	85±4	70±5	46±4	32±3	24±4	22±4	13±2	-
1625	23±1	42±3	60±4	76±5	90±4	101±5	98±4	99±5	83±3	74±4	50±3	34±3	25±2	18±2	14±1	-
1875	26±1	40±2	60±3	81±4	96±4	100±4	92±4	90±4	74±3	53±4	36±3	29±3	20±3	16±3	16±2	5±2
2125	22±1	36±3	55±4	72±5	86±5	93±4	87±5	83±5	76±5	69±6	60±3	40±3	24±3	8±3	13±5	7±5
2375	18±1	34±2	51±3	65±4	80±4	83±5	85±4	90±4	87±5	76±5	53±4	38±5	26±3	16±2	16±3	6±2
2625	11±1	31±2	43±3	60±4	76±6	83±6	90±6	87±6	83±6	76±6	53±4	57±6	26±4	18±2	11±3	12±1

ни. Для $E_\gamma \geq 1625$ МэВ приведены результаты, просуммированные с аналогичными результатами, полученными нами ранее^{/2/}. В качестве иллюстрации на рис. 1 изображены распределения параметра $\bar{A} = \Delta\Sigma/\Sigma$ для $E_\gamma = 875 - 1625$ МэВ. Аналогично^{/2/} полученные средние дифференциальные распределения ионизационных потерь ливневых электронов можно аппроксимировать двухпараметрической зависимостью

$$\frac{\Delta A}{\Delta d} = a d \exp(-\beta d^2), \quad /1/$$

где a и β - параметры, определяемые при статистической подгонке. Численные значения этих параметров и соответствующие им значения вероятности фитирования приведены в табл. 3.

3.2. Относительные флуктуации ионизационных потерь ливневых электронов

В табл. 4 приведены значения относительной дисперсии σ_A/\bar{A} доли A суммарных ионизационных потерь ливневых электронов на длине d развития ливня, на которой (в среднем) выделяется в виде ионизации доля \bar{A} энергии лавины. Численные данные проиллюстрированы в графическом виде на рис. 2 для четырех значений энергии E_γ гамма-квантов, образующих ливни: $E_\gamma = 875, 1125, 1375, 1626$ МэВ.

Следует отметить, что зависимость σ_A/\bar{A} от \bar{A} можно описать, как ранее^{/5/}, функцией

$$\sigma_A/\bar{A} = \left| \left\{ \frac{1}{b} \ln \frac{a}{\bar{A}} \right\}^{1/2} \right|, \quad /2/$$

где a и b - параметры, причем $b = 136 \pm 1,3^{/5/}$ и a незначительно меняется при изменении энергии E_γ в широком интервале значений: $a = 1,20 \pm 0,01$ при $E_\gamma = 50$ МэВ и $a = 0,96 \pm 0,01$ при $E_\gamma = 3375$ МэВ^{/5/}. При этом $\bar{A} \geq 0,1$.

Таблица 3

Численные значения параметров α и β функции $1/\lambda$, аппроксимирующей дифференциальные ионизационные потери ливневых электронов в электронно-фотонных лавинах, вызванных гамма-квантами с энергией E_γ в жидком ксеноне. χ_n^2/n - значение тестовой статистики χ_n^2 с n степенями свободы, P - вероятность фитирования. α выражено в единицах $[d]^{-1}$, обратных длине d ; β - в единицах $[d]^{-2}$

E_γ (МэВ)	$\alpha \cdot 10^{-3}$	$\beta \cdot 10^{-3}$	χ_n^2/n	P (%)
875	36.6 ± 1.4	17.2 ± 0.7	12.8/9	17.5
1125	30.3 ± 0.9	14.2 ± 0.5	15.8/9	7.5
1375	25.2 ± 0.6	12.2 ± 0.4	25.2/9	≤ 1
1625	23.8 ± 0.5	11.6 ± 0.3	10.4/9	28,5
1875	24.9 ± 0.5	13.7 ± 0.3	44.1/9	< 1
2125	21.2 ± 0.5	10.3 ± 0.3	10.9/9	37
2375	19.0 ± 0.4	9.3 ± 0.2	23.2/13	5
2625	17.4 ± 0.5	8.6 ± 0.4	20.8/9	1.5

Таблица 4

Значения относительных дисперсий σ_A/\bar{A} доли A суммарных ионизационных потерь ливневых электронов, выделяемой на длине d - развития ливня, соответствующие среднему значению A . Обозначения, как в табл. 2, \bar{A} и σ_A/\bar{A} выражены в процентах.

E_γ, d (МэВ)		2	4	6	8	10	12	14	16	18
875	\bar{A}	10 ± 1	32 ± 2	55 ± 3	77 ± 2	92 ± 2	97 ± 9	99 ± 0.4		
	σ_A/\bar{A}	31 ± 6	34 ± 4	22 ± 3	11 ± 3	7 ± 3	4 ± 3	2 ± 1	-	-
1125	\bar{A}	8 ± 1	26 ± 1	49 ± 2	68 ± 2	84 ± 2	94 ± 1	98 ± 1	99 ± 0.3	-
	σ_A/\bar{A}	41 ± 6	29 ± 3	25 ± 3	18 ± 3	12 ± 3	6 ± 2	4 ± 1	2 ± 1	-
1375	\bar{A}	7 ± 0.4	22 ± 1	44 ± 2	64 ± 2	79 ± 3	89 ± 2	94 ± 1	97 ± 1	99 ± 0.3
	σ_A/\bar{A}	34 ± 6	29 ± 3	21 ± 3	19 ± 3	14 ± 3	10 ± 2	6 ± 2	4 ± 1	2 ± 1
1625	\bar{A}	6 ± 0.4	20 ± 1	40 ± 2	60 ± 2	77 ± 3	83 ± 2	94 ± 1	97 ± 1	99 ± 2
	σ_A/\bar{A}	38 ± 6	28 ± 3	23 ± 3	19 ± 3	16 ± 3	11 ± 2	6 ± 2	3 ± 1	1 ± 1

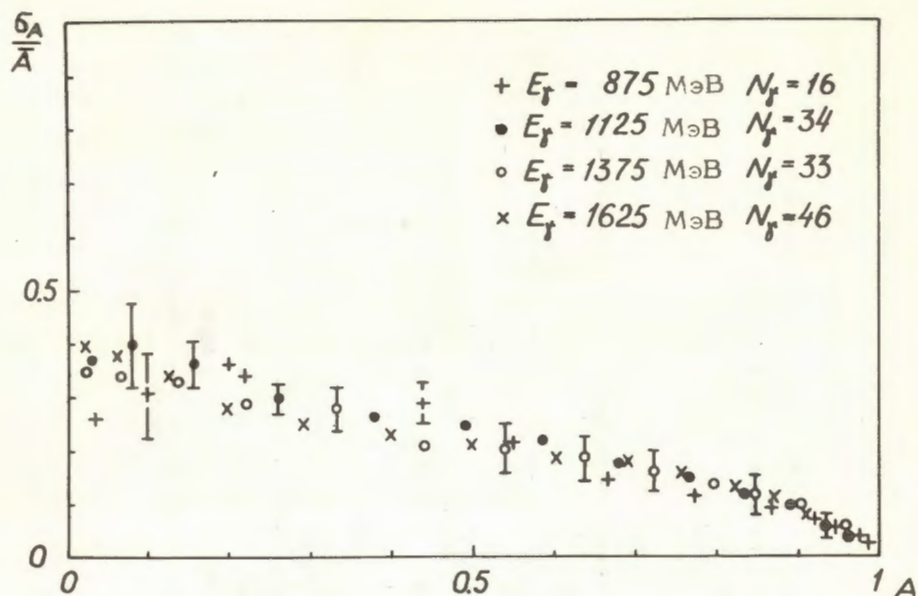


Рис.2. Относительные дисперсии σ_A / \bar{A} доли A суммарных ионизационных потерь ливневых электронов в электронно-фотонных лавинах, вызываемых гамма-квантами с энергией E_γ в жидком ксеноне. N_γ - число проанализированных случаев лавин.

4. ВЫВОДЫ

На основании выполненного анализа результатов измерений дифференциальных ионизационных потерь ливневых электронов в электронно-фотонных лавинах, созданных гамма-квантами с энергией $E_\gamma = /875 - 2625/ \text{ МэВ}$ в жидком ксеноне, можно сделать следующие выводы:

1. Дифференциальные ионизационные потери электронов в ливнях удовлетворительно описываются простой двухпараметрической зависимостью /1/.

2. Относительные дисперсии доли ионизационных потерь ливневых электронов можно аппроксимировать, как показано ранее^{/5/}, соотношением /2/.

В заключение следует подчеркнуть, что полученные нами простые параметризации ионизационных потерь и их флуктуаций в электронно-фотонных лавинах, образованных гамма-квантами, могут быть непосредственно использованы в различных методиках детектирования гамма-квантов высоких энергий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Словинский Б., Стругальский З., Яновская Б. ЯФ, 1969, 9, с. 120; Словинский Б., Стругальский З., Хуберг В. ЯФ, 1972, 16, с. 734; Охрименко Л.С. и др. ЯФ, 1975, 22, с. 110.
2. Охрименко Л.С. и др. ОИЯИ, Е1-9210, Дубна, 1975.
3. Кузнецов В.В. и др. ПТЭ, 1970, 2, с. 56.
4. Ничипорук Б., Словинский Б., Стругальский З. ОИЯИ, Р-2808, Дубна, 1966.
5. Словинский Б. ОИЯИ, Р1-11890, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 октября 1978 года.