

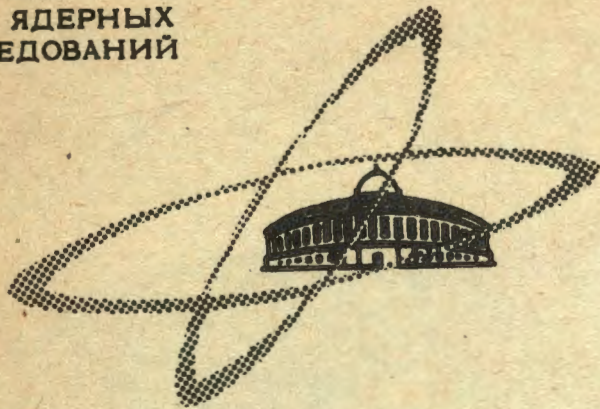
0-393

19/XI 88.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 4077



З.Огрзевальский, З.С.Стругальский

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ ЛИВНЕЙ
ПРИ ЭНЕРГИИ ОТ 1 ДО 2 ГЭВ

1968

P1 - 4077

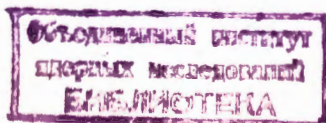
7557/2 up.

З.Огрзевальский,* З.С.Стругальский*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ ЛИВНЕЙ
ПРИ ЭНЕРГИИ ОТ 1 ДО 2 ГЭВ

Направлено в ЯФ

*
Институт ядерных исследований, Варшава, Польша.



С помощью ксеноновой пузырьковой камеры можно детально проследить процесс развития электронно-фотонных ливней. В камере Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, которой мы располагаем, отношение длины камеры к радиационной единице $t_0 = 4,05 \pm 0,17$ см равно 13,5. Граничная, минимальная длина проекции наблюдаемых электронов, независимая в исследованном диапазоне энергий от энергии лавины, равняется $0,5 \pm 0,2$ см. Полная энергия ливня может быть определена с точностью около 10%.

Типичная картина исследованных нами случаев показана на рис.1.

γ -квант, возникший от распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$, рожденного в $\pi^+ - \text{Xe}$ взаимодействии при 2,34 Гэв/с в точке P_1 , конвертирует в точке P_2 , создавая лавину. Развитие лавины можно проследить начиная или от точки P_1 , или от точки P_2 .

Целью настоящей работы является получение экспериментальных информации о развитии лавин в веществе, и в частности, о флуктуациях средних характеристик этого процесса.

1. Описание эксперимента

На снимках, полученных в ксеноновой пузырьковой камере, были последовательно выбраны ливни, удовлетворяющие следующим критериям отбора:

1) Лавины полностью развиваются в камере (расстояние от наблюдаемого конца ливня до ближайшей стенки камеры, вдоль оси ливня, не меньше двух радиационных единиц t_0).

2) Отклонение осей ливней от направления пучковых треков, проходящих практически параллельно к плоскости фотографирования, не больше $\Theta = 15^\circ$.

3) В области развития отобранного ливня нет никаких следов от других ливней и взаимодействий.

4) Полные энергии E_{γ} отобранных ливней, измеренные по ранее изложенному методу /1+3/, находятся в диапазонах значений:

1000 ± 150 Мэв, 1500 ± 225 Мэв и 2000 ± 300 Мэв.

Последнее требование учитывалось после измерения полной энергии E_{γ} отобранных ливней по суммарному пробегу вторичных частиц. Суммарный пробег электронов и позитронов измерялся дважды; достигалась точность его определения не хуже 5%. С помощью микроскопов УИМ-21 определялись длины конверсии λ первичных γ -квантов с точностью не хуже 1 мм и углы Θ с точностью не хуже $0,5^\circ$.

Для дальнейших измерений каждая из ливней, удовлетворяющих критериям /1+4/, срисовывалась точно в масштабе 1:1 на бумагу, лежащую на экране проекционно-измерительного стола.

В процессе измерения изображение каждого ливня было через каждые 2 см разделено на участки отрезками параллельных прямых, перпендикулярных к оси ливня (к направлению, проходящему через точки P_1 , P_2). Началом отсчета в одном цикле измерений была точка генерации γ -кванта P_1 , в другом цикле — его точка конверсии P_2 . В обоих случаях определялись суммарные длины пробегов электронов и позитронов $\sum R_{e\pm}^{A'}$ в пределах каждого участка $t_{A'}, t_{A'} + t_0$, соответствующего данной длине частичного развития $t_{A'}$ ($\sum R_{e\pm}^{A'}$ определялись в проекции изображения на экран). Кроме этого, считались числа электронов и позитронов, которые пересекали плоскости, перпендикулярные оси ливня. Также определялись расстояния от оси ливня точек пересечения траекториями электронов и позитронов этих плоскостей, находящихся на расстояниях t от точки отсчета. Минимальная энергия наблюдаемых электронов и позитронов $E = 3 \pm 1,2$ Мэв.

Как упоминалось раньше /4/, небольшими расхождениями в действительных длинах участков, на которых ведутся измерения, можно пренебречь при допускаемых нами значениях Θ .

2. Экспериментальные данные

Обрабатывались 40 ливней с полной энергией $E_\gamma = 1000 \pm 150$ Мэв, 36 ливней с $E_\gamma = 1500 \pm 225$ Мэв и 16 ливней с $E_\gamma = 2000 \pm 300$ Мэв.

2.1. Каскадные кривые. Каскадные кривые – зависимость среднего числа электронов и позитронов с энергиями больше E в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями E_γ , от глубины развития $t, \bar{N}(E_\gamma, E, t)$ показаны на рис. 2, 3, и 4.

Точкой отсчета служили точки генерации γ -квантов. На рис. 5, 6 и 7 приведены каскадные кривые в случае, когда в качестве начальных точек отсчета служили точки конверсии γ -квантов. Во всех случаях рассеяние электронов и позитронов не учитывалось.

2.2. Флуктуации $\frac{\delta \bar{N}^2}{\bar{N}}$. На рис. 2, 3, 4, 5, 6 и 7 показаны соответствующие флуктуации

$$\frac{\delta \bar{N}^2}{\bar{N}} = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2 \right\} \frac{1}{n}}{\bar{N}} \quad (1)$$

в числе \bar{N} частиц в зависимости от глубины развития лавины t .

2.3. Зависимость $\bar{A}(t)$ энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами, от глубины развития лавины t . Ход зависимостей $\bar{A}(t)$ для ливней разных энергий показан на рис. 8, 9 и 10. Счет A начинался от точек конверсии γ -квантов.

2.4. Флуктуации $\frac{\delta \bar{A}(t)^2}{\bar{A}(t)}$. На рис. 8, 9 и 10 показаны также зависимости флуктуаций в $\bar{A}(t)$. В представленных зависимостях не учтено влияние флуктуации из-за разброса длин конверсии γ -квантов, создавших ливни.

2.5. Поперечное развитие ливня. На рис. 11, 12 и 13 показаны гистограммы распределений частиц в ливнях на разных расстояниях x от оси. соответствующие данным глубинам развития t .

На рис. 14, 15 и 16 приводятся зависимости средней ширины ливня $\bar{x}(t)$ от глубины развития t . $\bar{x}(t)$ был определен согласно формуле

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{4n} \sum_{\nu=1}^n \bar{x}_{\nu} ,$$

$$\bar{x}_{\nu}(t) = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i + \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j + \frac{1}{n_3} \sum_{k=1}^{n_3} x_k + \frac{1}{n_4} \sum_{\ell=1}^{n_4} x_{\ell} ; \quad (2)$$

n - число ливней, n_1 , n_2 , n_3 , n_4 - число частиц по левой и правой стороне оси ливня на обоих кадрах стереопары.

Началом отсчета при получении данных, показанных на рис. 11÷13, служили точки конверсии первичных γ -квантов.

2.6. Флюктуации $\frac{\overline{\delta x(t)^2}}{\bar{x}(t)}$. Флюктуации в средней ширине ливня $\bar{x}(t)$ мм даны на рис. 14÷16. При их получении были также учтены флюктуации, которые могут происходить от разброса длин конверсий первичных γ -квантов.

3. Обсуждение экспериментальных результатов

Количественные информации, касающиеся чисел частиц в максимуме исследуемых ливней, положений максимумов развития ливней, средних длин развития лавин и флюктуаций средних характеристик на данной глубине t приведены на рис. 2÷10. Подробно описаны поперечные размеры лавин с помощью диаграмм, показанных на рис. 11÷16.

Из сопоставления каскадных кривых, соответствующих разным значениям E_{γ} и полученных при счете от точек P_1 и P_2 , можно заключить, что

- 1) флюктуации числа частиц минимальны в районе максимума развития ливня;
- 2) разброс длин конверсий сказывается на ходе флюктуаций лишь при $t < t_{\max}$.

Ход флуктуации выделенной энергии на ионизацию среды вторичными электронами и позитронами в зависимости от t меняется с ростом энергии E_γ (рис. 8÷10). Имеется указание, что аналогичные изменения имеют место и в ходе флуктуаций числа частиц (рис. 5÷7).

Наблюдаются относительно большие флуктуации в ходе поперечного развития ливней (рис. 14а), б); 15а), б); 16а), б)). Характер зависимости этих флуктуаций от t не меняется существенно с изменением E_γ в исследуемом диапазоне значений.

Более подробное исследование поперечного развития ливня (рис. 17÷19) показывает, что распределение расстояний частиц от оси ливня на глубинах развития $t \geq 3t_0$ практически подчиняется нормальному закону распределения. При глубинах развития, меньших $3t_0$, распределение более узкое.

Л и т е р а т у р а

1. З.С. Стругальский. Материалы совещания по методике пузырьковых камер. Препринт ОИЯИ, 796, Дубна, 1961; Л.П. Коновалова, Л.С. Охрименко, З.С. Стругальский. Препринт ОИЯИ, Р-700, Дубна, 1961; ПТЭ №6 (1961).
2. O. Czyżewski, J. Danysz, Z.S. Strugałski. *Acta Physica Polonica*, 21, 509(1963). Препринт ОИЯИ, Р-1144, Дубна, 1962.
3. И.А. Ивановская, Т. Канарек, Л.С. Охрименко, Б. Словинский, З.С. Стругальский, И.В. Чувило, З. Яблонский. Препринт ОИЯИ, Р1-3317, Дубна, 1967; ПТЭ, 2, 39 (1968).
4. Б. Словинский, З.С. Стругальский, Б. Яновская. Препринт ОИЯИ, Р1-3919, Дубна, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 сентября 1968 года.



Рис.1. Типичный случай ливня, созданного γ -квантом в жидком ксеноне. P_1 - точка генерации π^0 , P_2 - точка конверсии γ -кванта. Полная энергия ливня $E_\gamma = 1500$ Мэв.

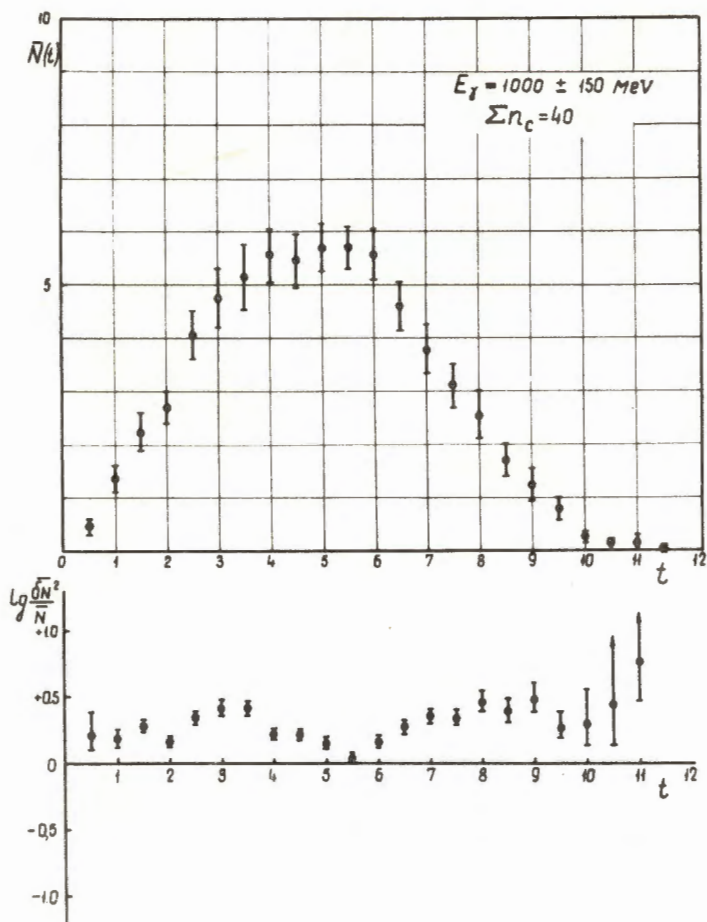


Рис.2. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями $E_{\gamma} = 1000 \pm 150$ Мэв. Начало отсчета от точек генерации γ -квантов P_1 .

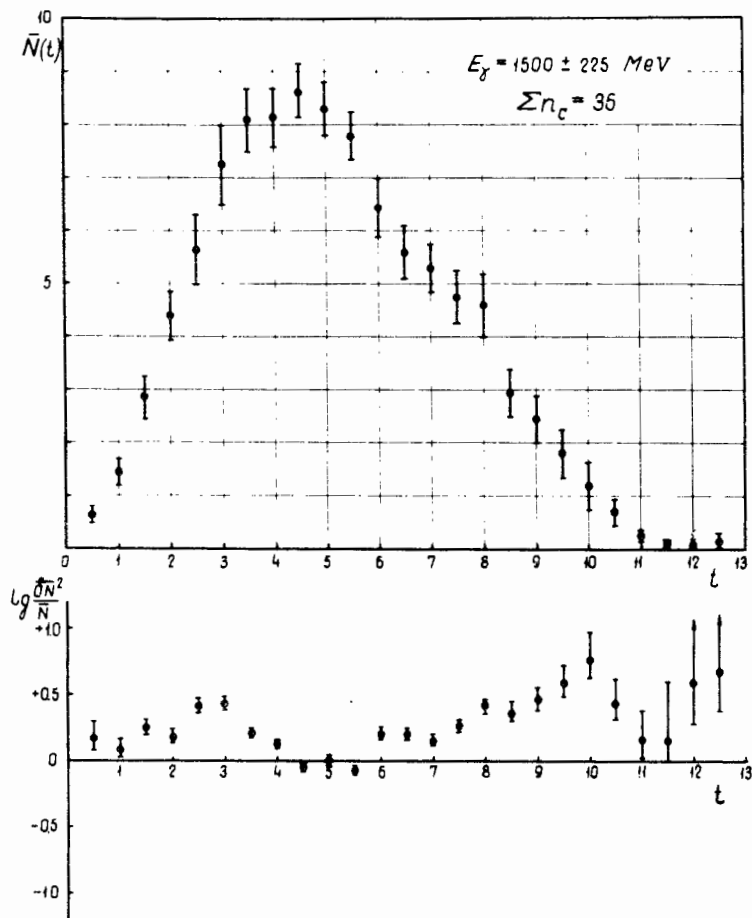


Рис.3. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями $E_\gamma = 1500 \pm 225$ Мэв. Начало отсчета от точки P_1 .

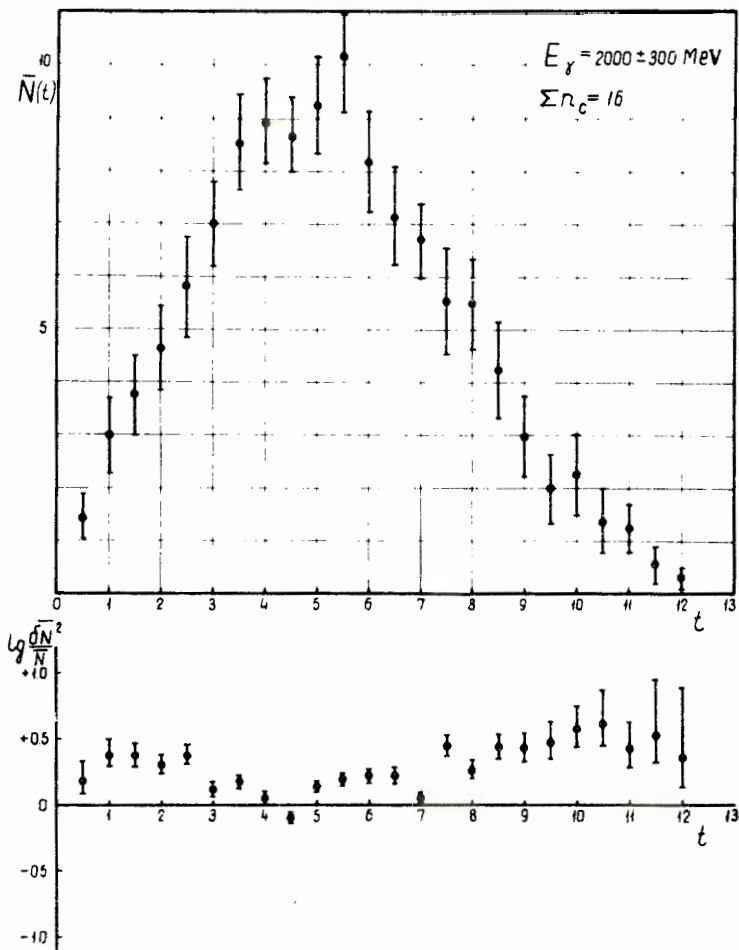


Рис.4. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями $E_\gamma = 2000 \pm 300$ Мэв. Начало отсчета от точки P_1 .

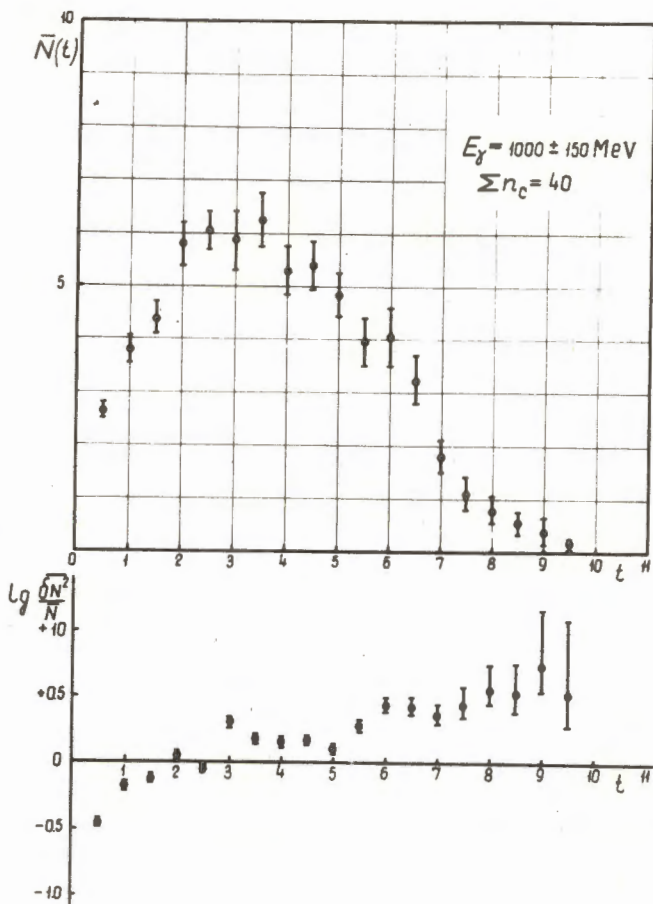


Рис.5. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях с полной энергией $E_\gamma = 1000 \pm 150$ Мэв. Начало отсчета - точка P_2 .

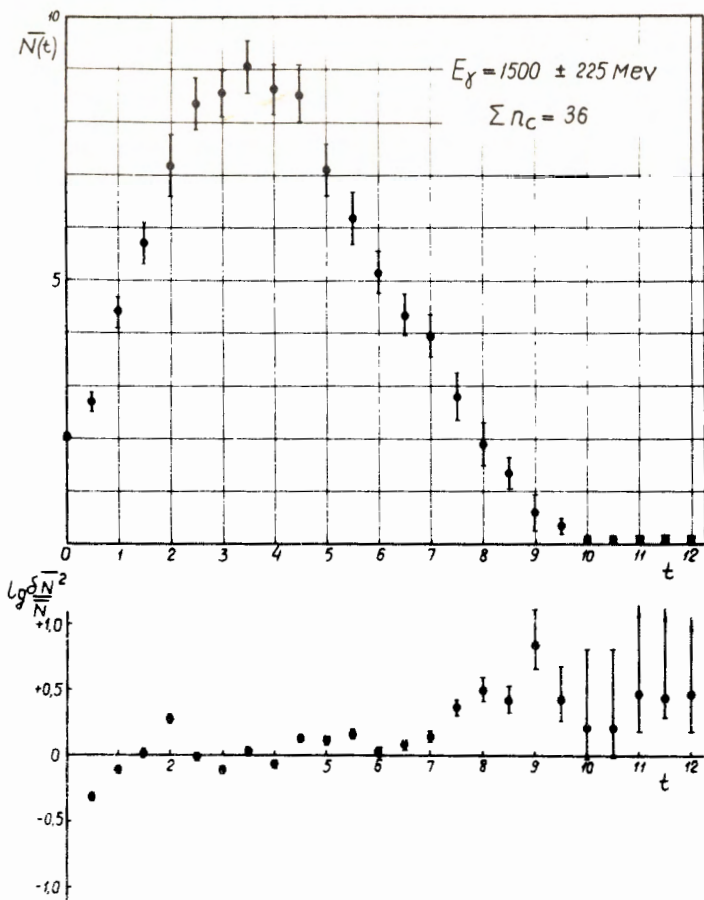


Рис.6. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях с полной энергией $E_\gamma = 1500 \pm 225$ Мэв. Начало отсчета - точка P_2 .

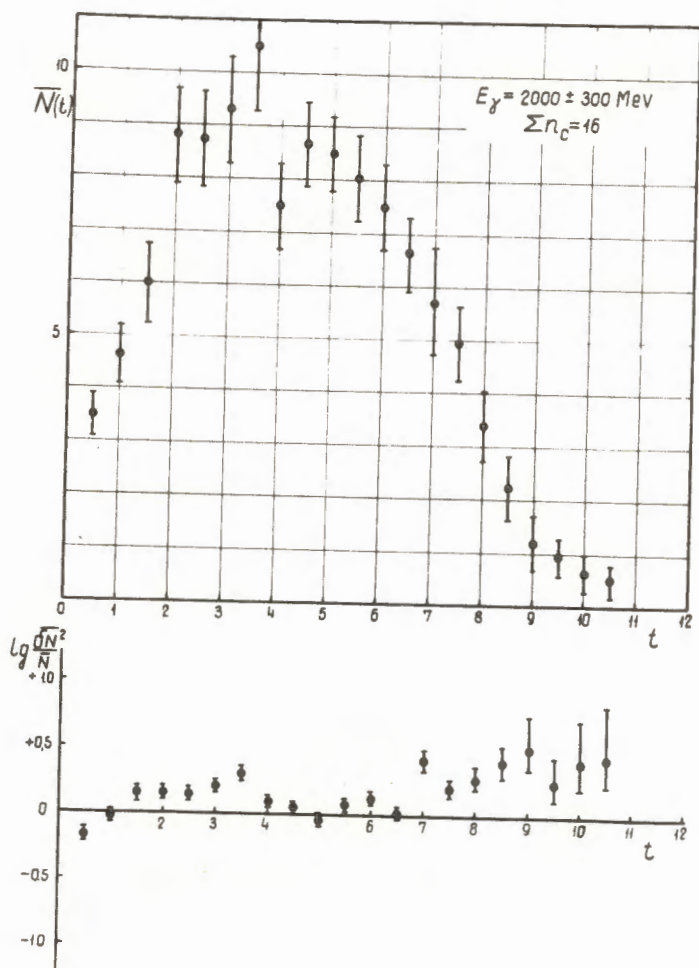


Рис.7. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях с $E_\gamma = 2000 \pm 300$ Мэв. Начало отсчета - точка P_2 .

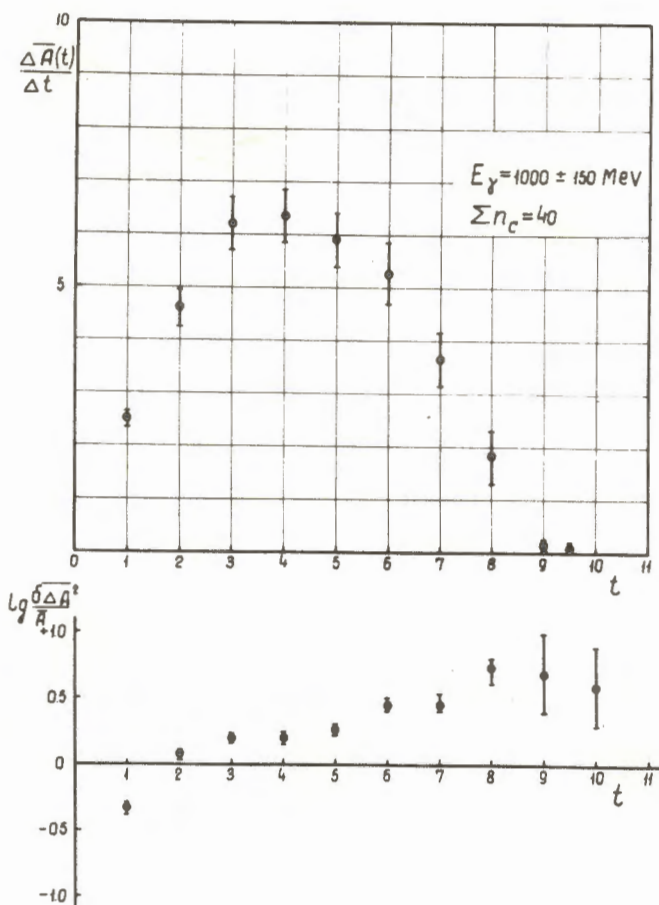


Рис.8. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами лавины, от глубины развития ливня. Начало отсчета - точка P_2 .

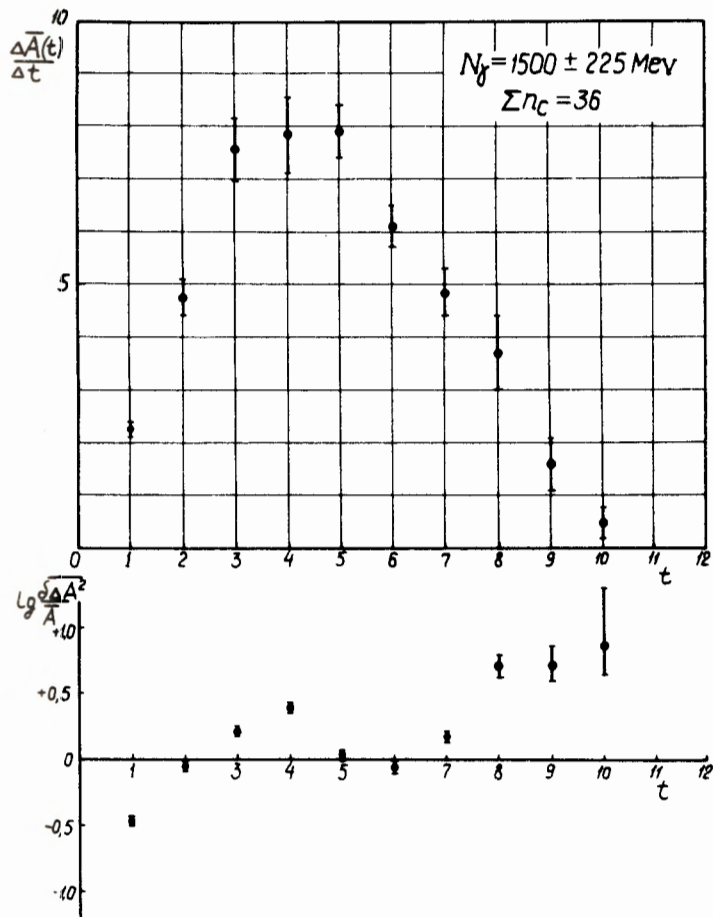


Рис.9. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами лавины, от глубины развития. Начало отсчета - точка P_2 .

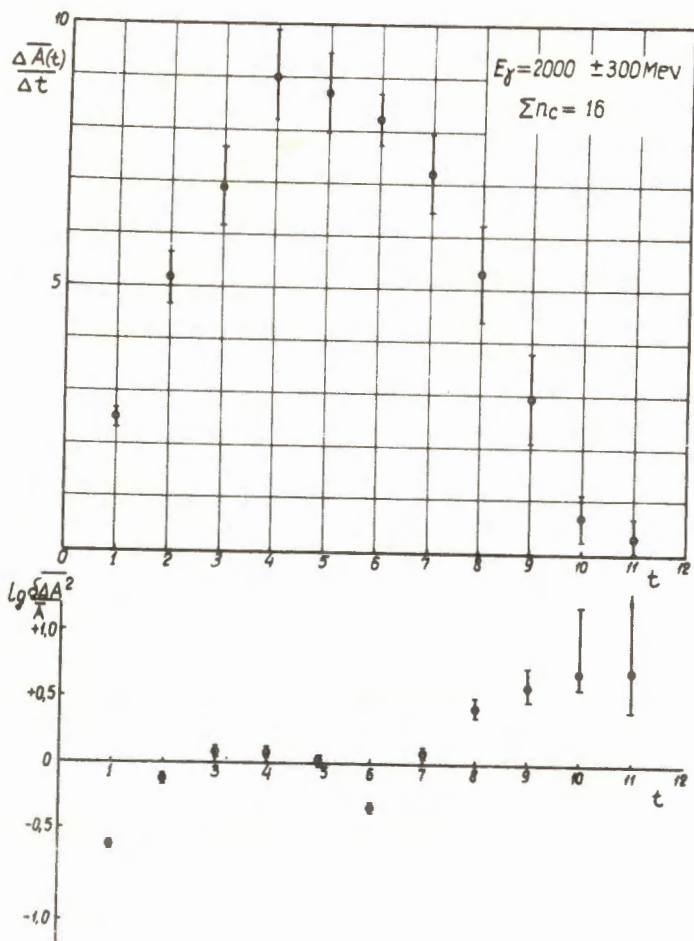


Рис.10. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами ливня, от глубины развития. Точка отсчета - P_2 .

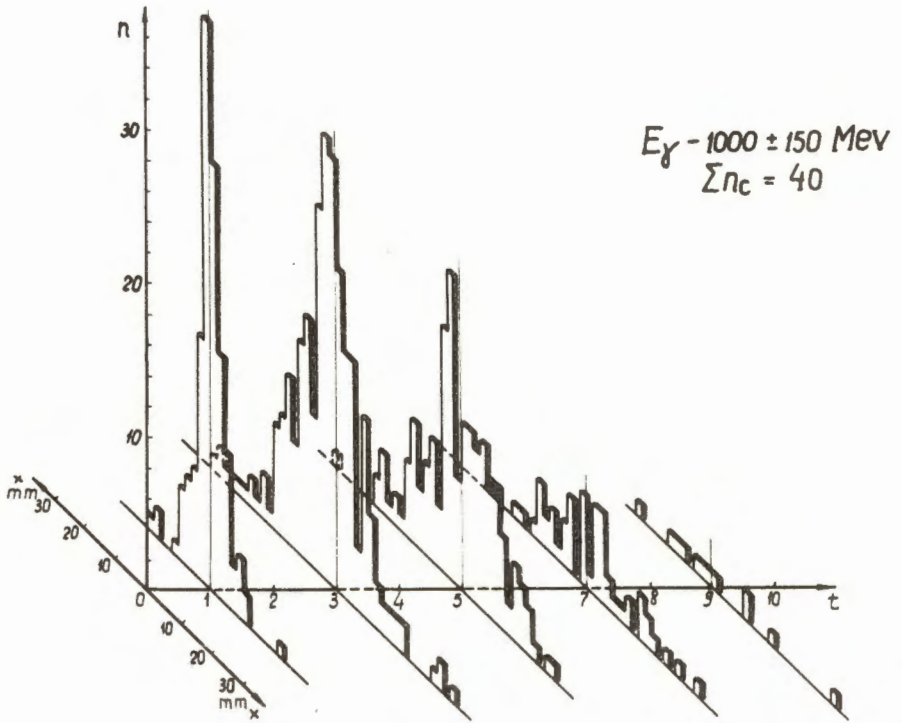


Рис.11. Распределения расстояний ливневых частиц от оси ливня на различных глубинах t .

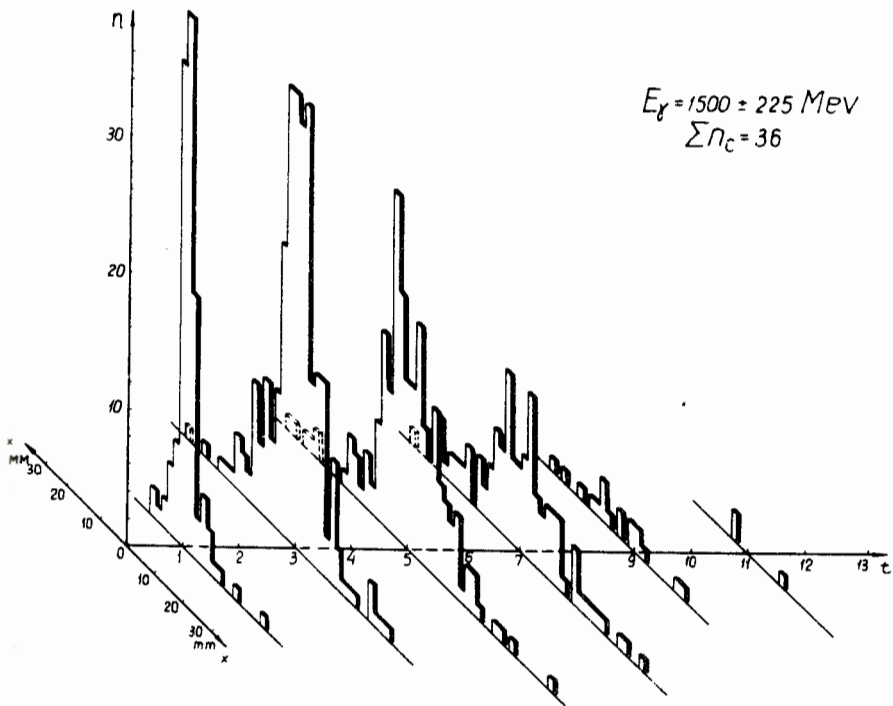


Рис.12. Распределения расстояний ливневых частиц от оси ливня на разных глубинах t .

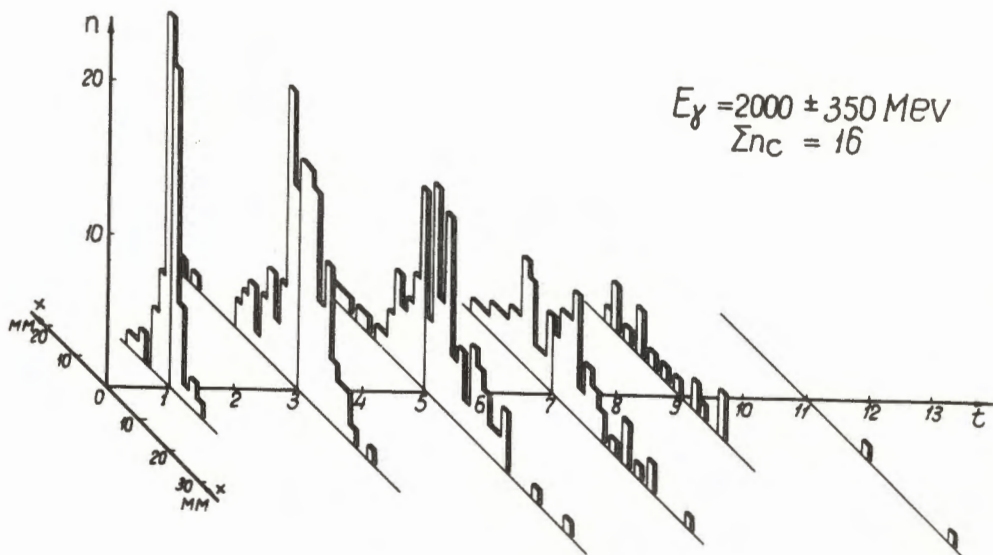


Рис.13. Распределения расстояний ливневых частиц от оси ливня на различных глубинах t .

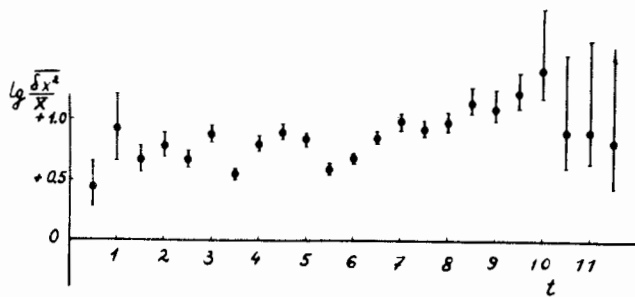
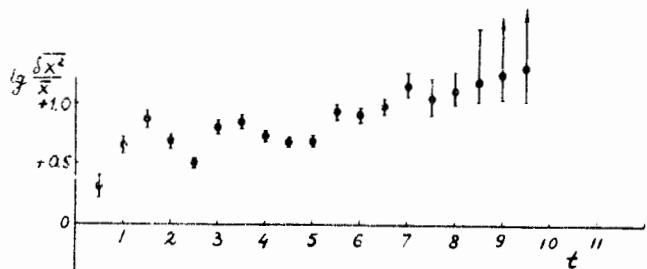
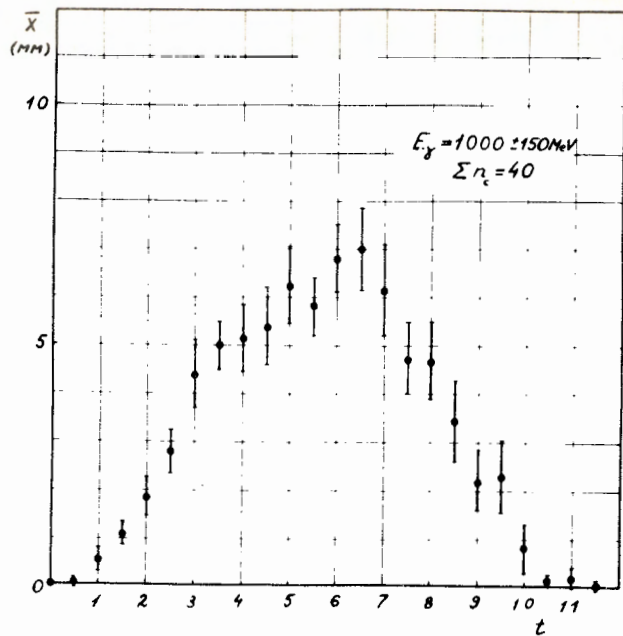
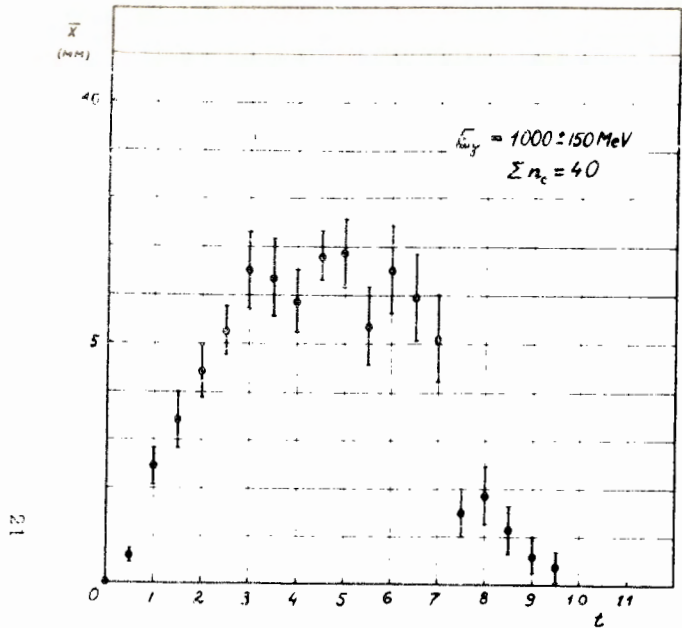


Рис.14. Средняя ширина ливня $\bar{x}(t)$ в зависимости от глубины его развития; а) точка отсчета - P_1 ; б) точка отсчета P_2 .

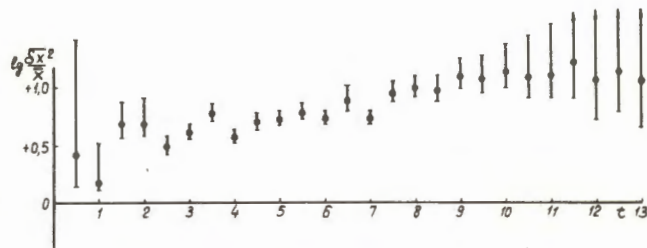
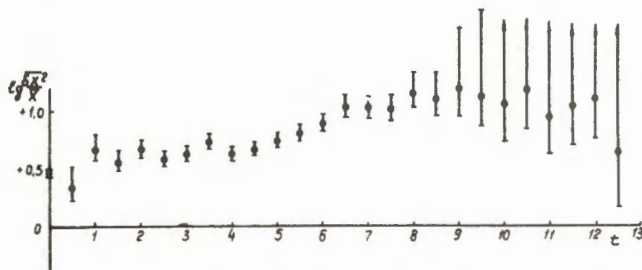
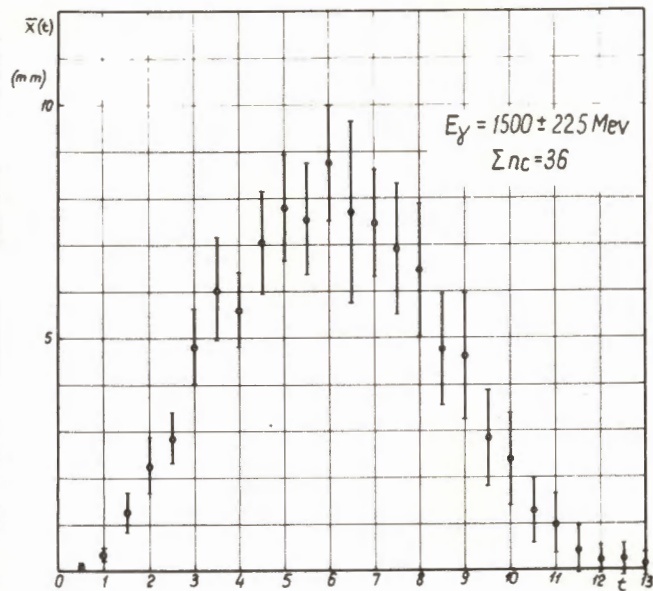
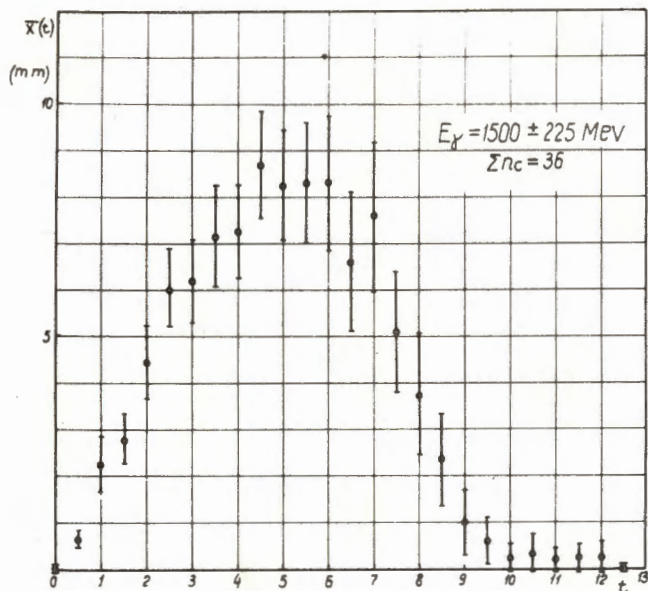


Рис.15. Средняя ширина ливня $\bar{x}(t)$ в зависимости от глубины его развития; а) отсчет от P_1 ; б) отсчет от P_2 .

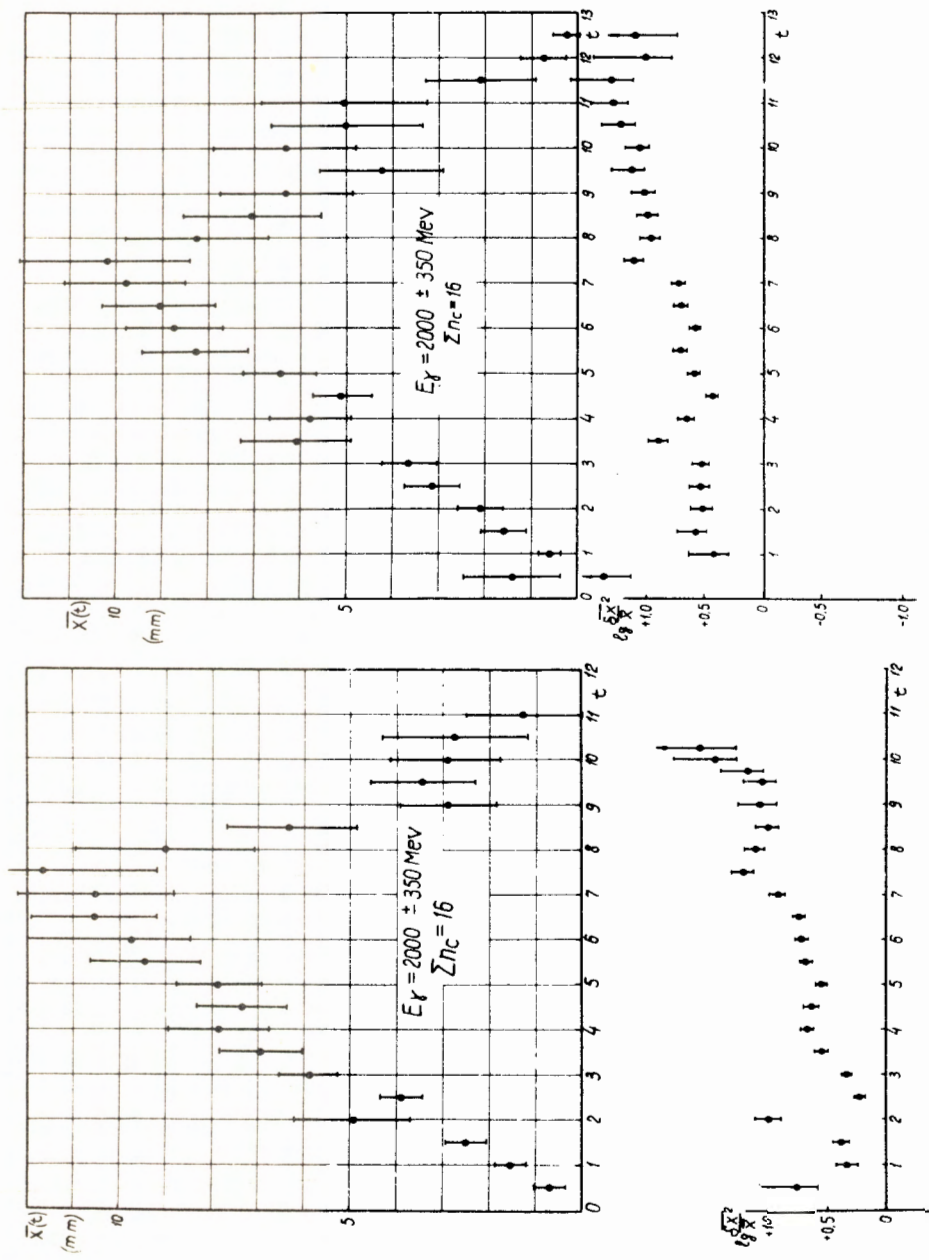


Рис.16. Средняя ширина ливня $\bar{x}(t)$ в зависимости от глубины его развития; а) отсчет от P_1 ; б) отсчет от P_2 .

$$E_{\gamma} = 1000 \pm 150 \text{ Mev} \quad \Sigma n_c = 40$$

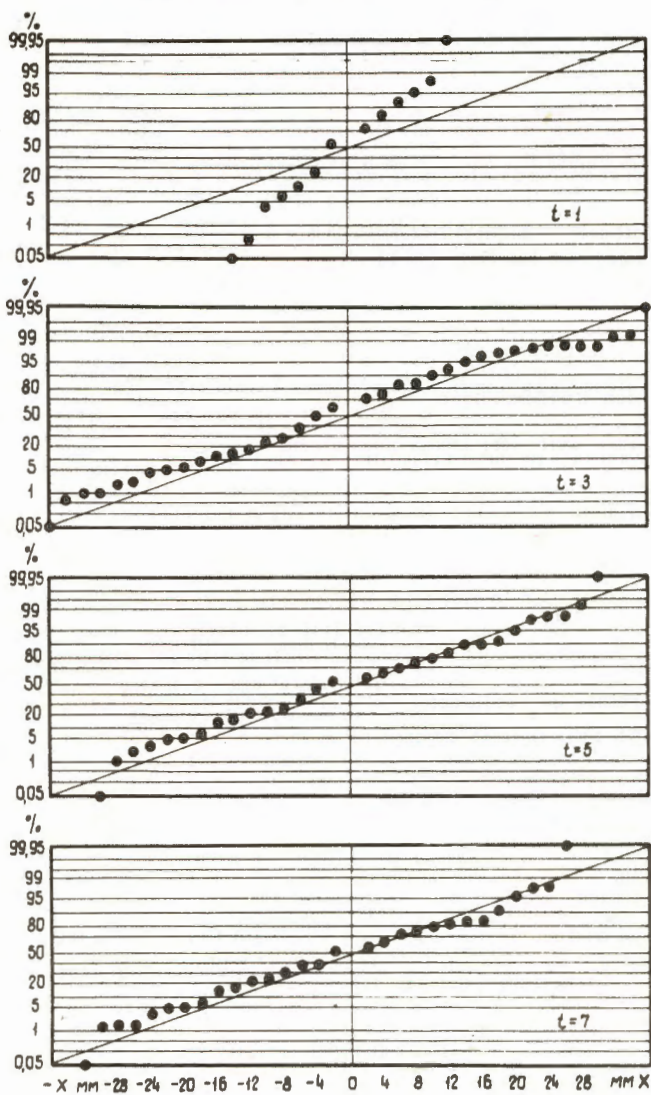


Рис.17. Характеристики поперечных распределений частиц в ливне при различных t .

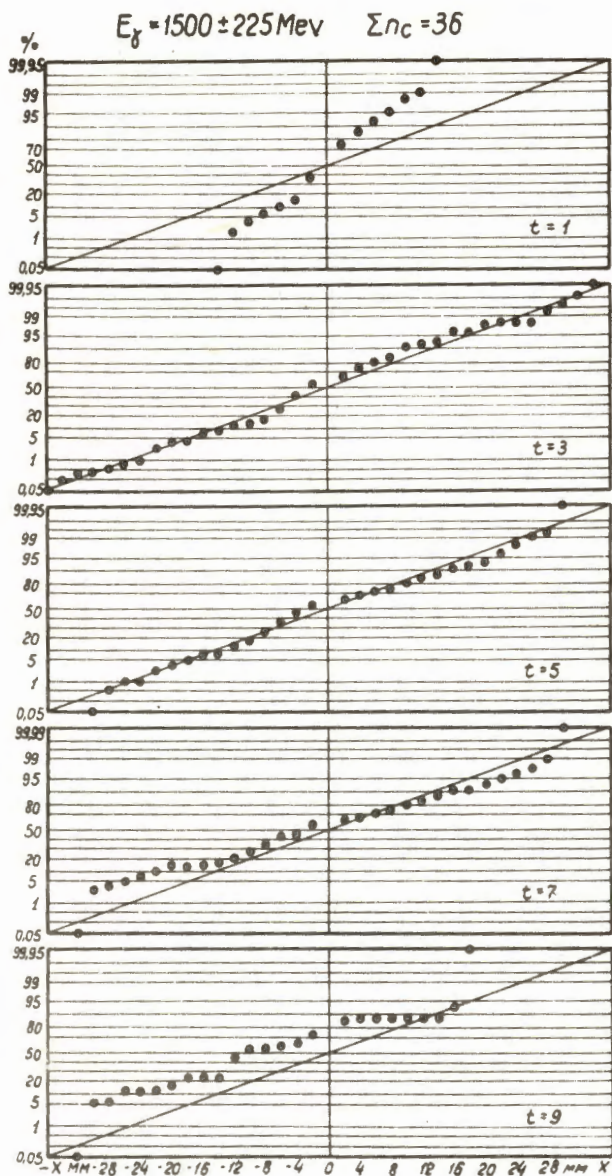


Рис.18. Характеристики поперечных распределений частиц в ливне при разных t .

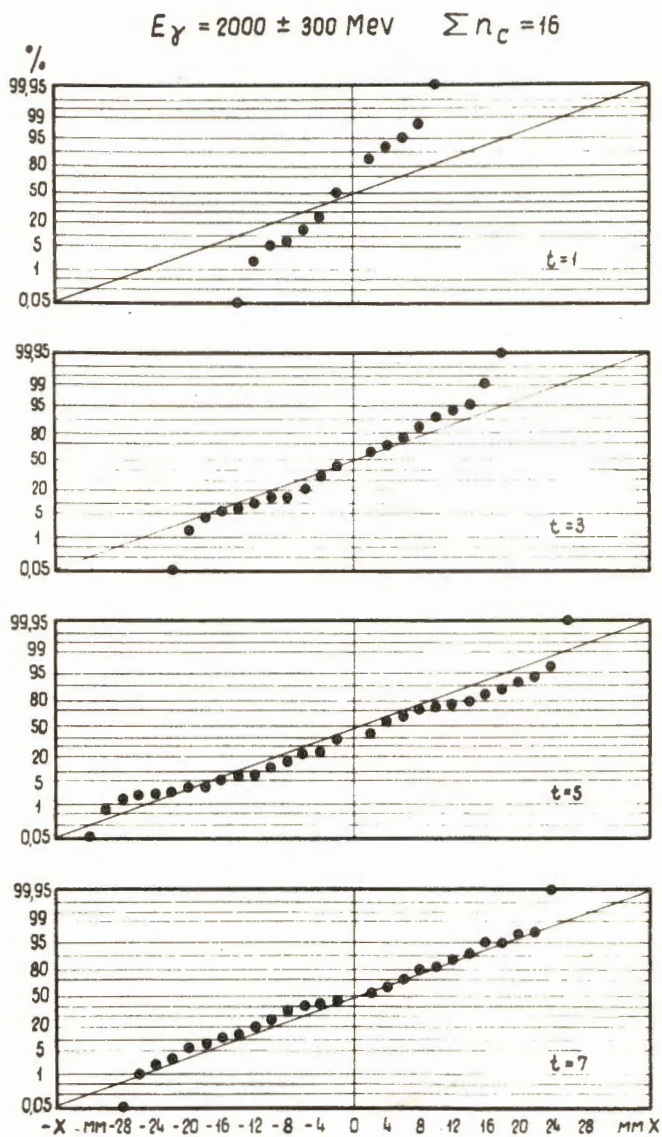


Рис.19. Характеристики поперечных распределений частиц в ливне при разных t .