

0-393
СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 4562



З.Огрзевальский, З.С.Стругальский

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

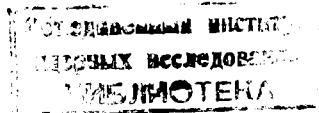
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ ЛИВНЕЙ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ ОТ 20 ДО 300 МЭВ

1969

P1 - 4562

З.Огрзевальский*, З.С.Стругальский*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ ЛИВНЕЙ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ ОТ 20 ДО 300 МЭВ



* В командировке от Института ядерных исследований, Варшава.

2974/2 чр

Целью настоящей работы является получение экспериментальных информации о процессе развития электронно-фотонных ливней в веществе. В частности, нас интересуют флуктуации средних характеристик этого процесса.

Исследования выполнены с помощью 26-литровой ксеноновой пузырьковой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. В этой камере можно детально проследить развитие лавин в выбранном диапазоне их энергий, так как потенциальная длина этого развития (13,5 радиационных единиц) составляет большую величину по сравнению с длинами развития исследованных ливней. Полная энергия E_γ ливней, создаваемых γ -квантами, может быть определена с точностью около 10% [1+3]. Граничная минимальная длина проекции следов наблюдаемых электронов на плоскость фотографирования равна (0,5+0,2) мм независимо от энергии лавины в исследованном диапазоне значений E_γ . Этой длине соответствует минимальная энергия электронов и позитронов $E = 3,1 \pm 1,2$ Мэв. Развитие лавин можно наблюдать начиная или от точки генерации первичного создающего ливень γ -кванта P_1 , или от точки конверсии этого γ -кванта P_2 .

1. Описание эксперимента

На снимках с ксеноновой пузырьковой камеры были последовательно выбраны ливни, удовлетворяющие 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. Отклонения осей ливней от направления лучковых 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. Полиле энергии E_γ отобранных ливней находятся в диапазоне значений: 20 ± 3 ; 40 ± 6 ; 80 ± 12 ; 150 ± 22 ; 300 ± 45 Мэв.

Энергии ливней определялись по суммарному пробегу электронов и позитронов, измеряемому дважды с точностью не хуже чем 5%. С помощью микроскопов УИМ-21 были найдены длины конверсии λ первичных γ -квантов с точностью 1 мм и углы θ - с точностью $0,5^\circ$.

Для проведения нужных измерений каждая из лавин, удовлетворяющих четырем перечисленным выше критериям, срисовывалась точно в масштабе 1:1 на бумагу, лежащую на экране проекционно-измерительного стола.

В процессе измерений изображение ливня было разделено через каждые 2 см на участки отрезками параллельных прямых, перпендикулярных оси ливня. В некоторых измерениях эти участки были другими, что видно на соответствующих рисунках. Началом отсчета в одном цикле измерений была точка генерации γ -кванта P_1 , в другом цикле - точка его конверсии P_2 . В обоих случаях определялись суммарные длины пробегов электронов и позитронов $\sum R_{e^\pm}^{\lambda'}$ в пределах каждого участка $t_{\lambda'}$, $t_{\lambda'} + t_0$, соответствующего данной длине частичного развития $t_{\lambda'}$ ($\sum R_{e^\pm}^{\lambda'}$ определялись по проекции изображения на экран). Кроме этого, считались числа электронов и позитронов, которые пересекали плоскости, перпендикулярные оси ливня. Измерялись также расстояния от оси ливня точек пересечения траекториями электронов и позитронов этих плоскостей. Плоскости пересекали ось ливня на расстояниях $t_{\lambda'}$ от P_1 или P_2 .

2. Экспериментальные данные

Распределение обрабатываемых ливней по энергиям дано в табл. 1.

Таблица 1

Энергия γ -кванта, создавшего ливень	Число ливней, взятых для анализа
20 ± 3 МэВ	40
40 ± 6 МэВ	50
80 ± 12 МэВ	40
150 ± 22 МэВ	38
300 ± 45 МэВ	39

2.1. Каскадные кривые

Каскадные кривые $\bar{N}(E_\gamma, E, t)^{1/4}$ показаны на рис. 1+10. На первых пяти рисунках представлены зависимости $\bar{N}(E_\gamma, E, t)$ для случая, когда точкой отсчета t была точка генерации первичного γ -кванта, создавшего ливень, на остальных пяти - информации о $\bar{N}(E_\gamma, E, t)$ для случая, когда точкой отсчета служила точка конверсии первичного γ -кванта.

Рассеяние электронов и позитронов не было учтено.

2.2. Флюктуации $\frac{\delta \bar{N}^2}{\bar{N}}$

На рис. 1+10 показаны также соответствующие флюктуации среднего числа частиц на глубинах t :

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

2.3. Зависимость $\bar{A}(t)$, энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами, от глубины развития лавины

Ход зависимостей $\bar{A}(t)$ для ливней разных энергий показан на рис. 11-15. Счет A начинался от точек конверсии γ -квантов.

2.4. Флюктуации $\frac{\overline{\delta A(t)}}{\bar{A}(t)}$

На рис. 11-15 приведены также зависимости флюктуаций $A(t)$. В этих распределениях не учтены флюктуации из-за разброса длин конверсий γ -квантов, создавших ливни.

2.5. Поперечное развитие ливня

На рис. 16-20 даны гистограммы распределений частиц в ливнях на расстояниях x от оси, соответствующих данным глубинам развития ливня t .

На рис. 21-25 приводятся зависимости средней ширины ливня $x(t)$ от глубины его развития t . Величина $x(t)$ была определена согласно формуле

$$x(t) = \frac{1}{4n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

$$\bar{x}_p(t) = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i + \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j + \frac{1}{n_3} \sum_{k=1}^{n_3} x_k + \frac{1}{n_4} \sum_{l=1}^{n_4} x_l.$$

Здесь n - число ливней, n_1, n_2, n_3, n_4 - число частиц по левой и правой стороне от оси ливня на обоих кадрах стереопары. Начало отсчета t принято в первом случае в точках конверсии первичных γ -квантов, во втором случае - в точках генераций первичных γ -квантов.

2.6. Флюктуации $\frac{\overline{\delta x(t)^2}}{\bar{x}(t)}$

Флюктуации средней ширины ливня $\bar{x}(t)$ мм даны на рис. 21-25.

3. Обсуждение экспериментальных результатов

Если построить зависимость от глубины развития ливня среднего полного пробега электронов и позитронов ΣR в ливнях при данных средних энергиях \bar{E}_γ , то получаются кривые, выходящие на плато при соответственно больших значениях t (рис. 26).

У самых больших среди изучаемых нами ливней при полных энергиях $E_\gamma = 2000$ Мэв плато достигается при $t = 10 t_c$, считая от точки конверсии первичного γ -кванта. Эта величина заметно меньше длины камеры.

Количественные информации, касающиеся числа частиц в максимуме развития ливней, положений максимумов, средних длин развития лавин и флуктуаций средних характеристик развития лавин, соответствующих данной глубине t , приведены на рис. 1+15. Поперечные размеры ливней описаны на рис. 16+25.

Из сопоставления данных, относящихся к ливням при разных E_γ , и полученных при отсчетах длин развития лавин от точек генерации первичных γ -квантов P_1 и от точек их конверсии P , можно заключить, что

1) если исследовать процесс развития ливня, начиная от точки P_1 , то полученные флуктуации $\frac{\delta N^2}{N}$ минимальны в районе максимума развития лавин (рис. 1-5);

2) разброс длин конверсии первичных γ -квантов сильно влияет на значения $\frac{\delta N^2}{N}$ и их ход в зависимости от t (рис. 6+10);

3) ход флуктуаций энергии, выделенной на ионизацию среды вторичными электронами и позитронами в зависимости от t меняется с ростом энергии E_γ (рис. 11+15).

4) наблюдаются относительно большие флуктуации в ходе поперечного развития ливней (рис. 21+25).

Доля энергии ливня, выделенная на ионизацию среды, характеризуемая соотношением $\frac{\Sigma \bar{R}}{\Sigma R_m}$, имеет одинаковый в границах около 10% характер зависимости от относительной глубины развития лавин $\frac{t}{d}$ в диапазоне $E_\gamma = 20+2000$ Мэв (рис. 27); $\Sigma \bar{R}$ - средний полный про-

бег электронов и позитронов ливня; \bar{d} - средняя длина развития ливня.

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. Czyzewski, J. Danysz, Z.S. Strugalski. *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. З.И. Огрэвальский, З.С. Стругальский. Препринт ОИЯИ, Р1-4077, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел

27 июня 1969 года.

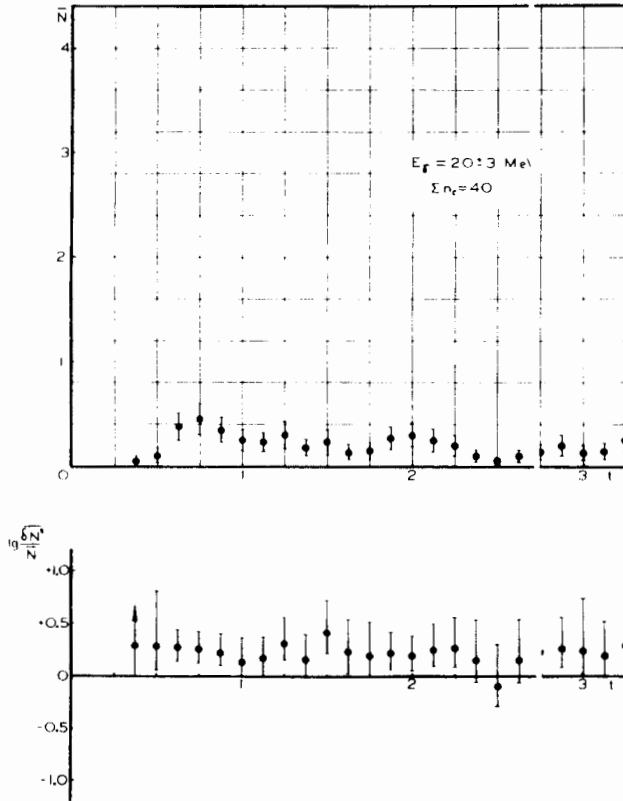


Рис.1. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями $E_\gamma = 20 \pm 3$ Мэв. Начало отсчета t от точки генерации первичного γ -кванта.

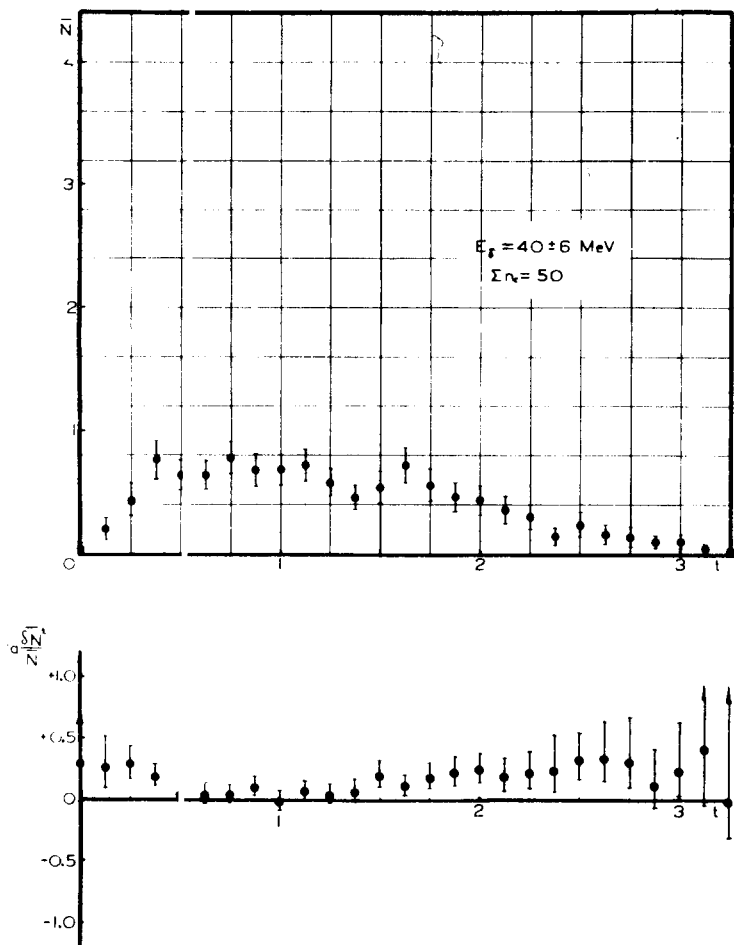


Рис.2. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями $E_\gamma = 40 \pm 6$ Мэв. Начало отсчета t от точки генерации первичного γ -кванта.

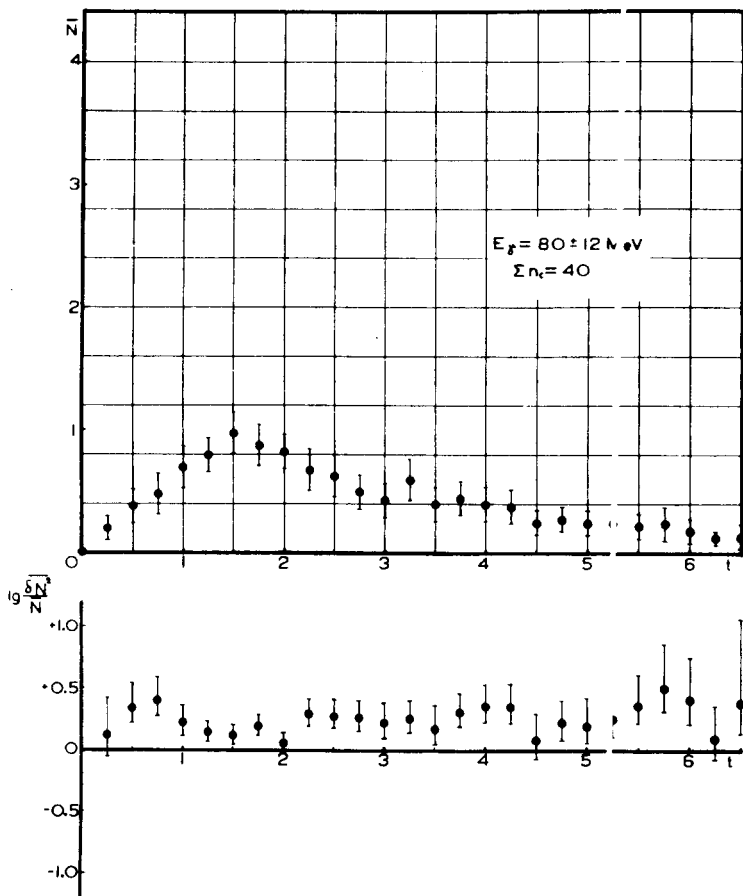
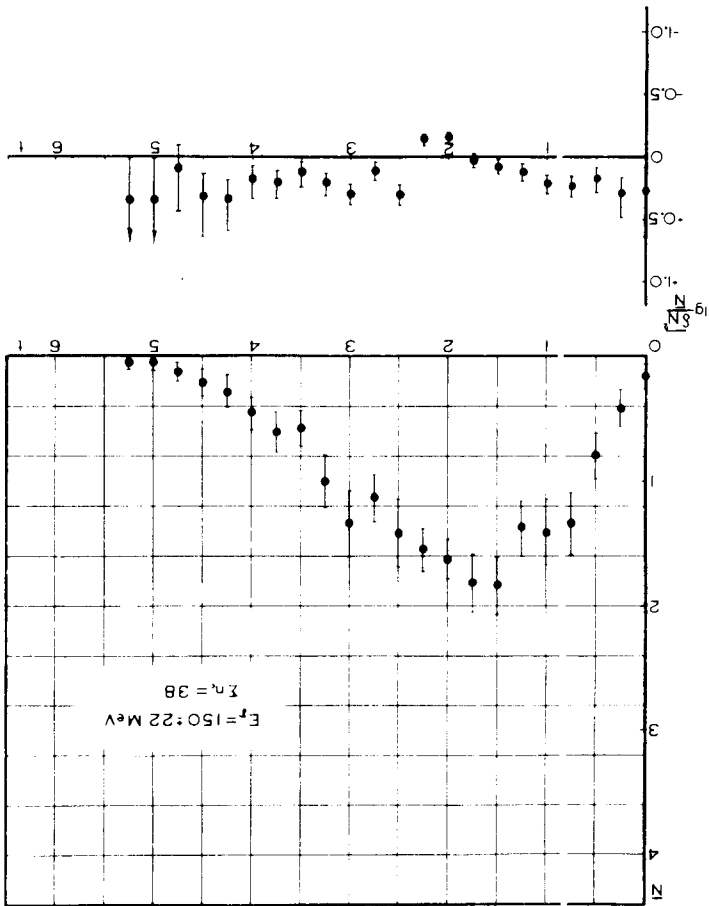


Рис.3. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями $E_\gamma = 80 \pm 12$ Мэв. Начало отсчета t от точки генерации первичного γ -кванта.

Рис. 4. Коэффициент μ ионизации и флуоресценции люминофора в люминофорах, содержащих Zr -квантовые элементы с энергией $E_{\text{кв}} = 150 \pm 22$ Мэв. Паралельно отсчету μ от точки флуоресценции люминофора Zr -кванты.



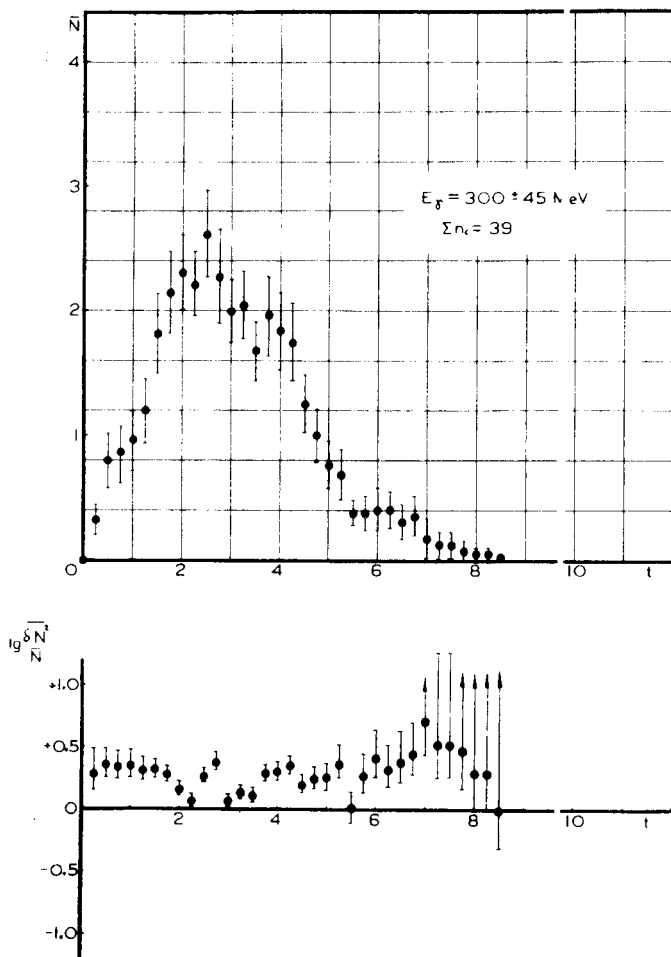


Рис.5. Каскадная кривая и флуктуации числа частиц в ливнях, созданных γ -квантами с энергиями $E_\gamma = 300 \pm 45$ Мэв. Начало отсчета t от точки генерации первичного γ -кванта.

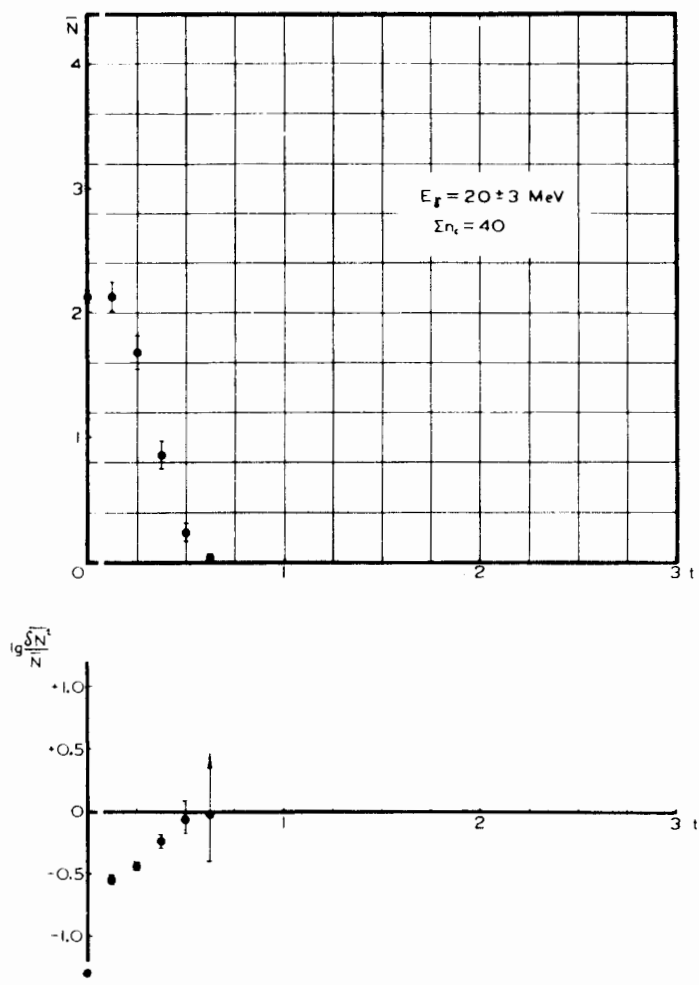
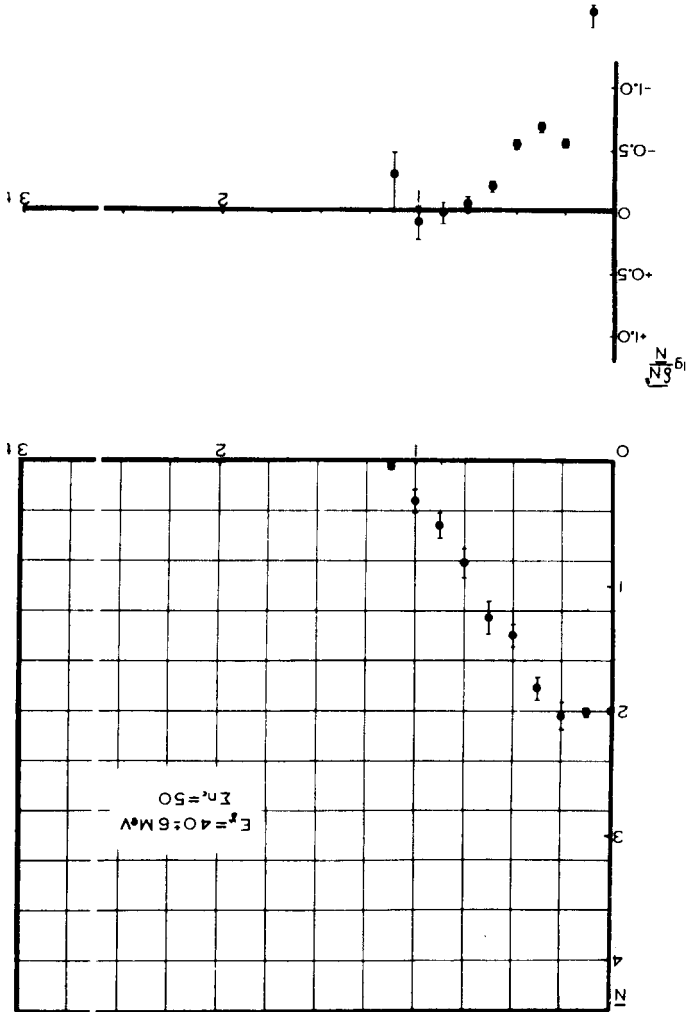


Рис.6. Каскадная кривая и флуктуации в ливнях с энергией $E_\gamma = 20 \pm 3$ Мэв. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта.

Рис. 7. Каскадная кривая и флюктуация в линиях с энергией $E_{\gamma} = 40 \pm 6$ Мэв. Начало отсчета 1 - точка координат переносного γ -кванта.



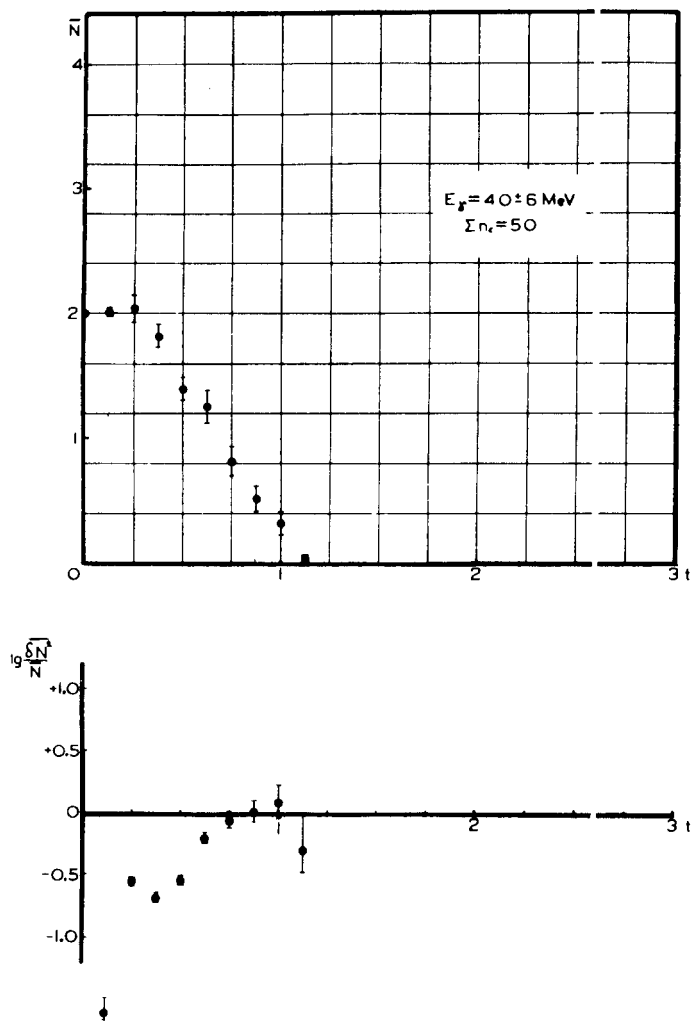


Рис.7. Каскадная кривая и флуктуации в ливнях с энергиями $E_\gamma = 40 \pm 6$ Мэв. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта.

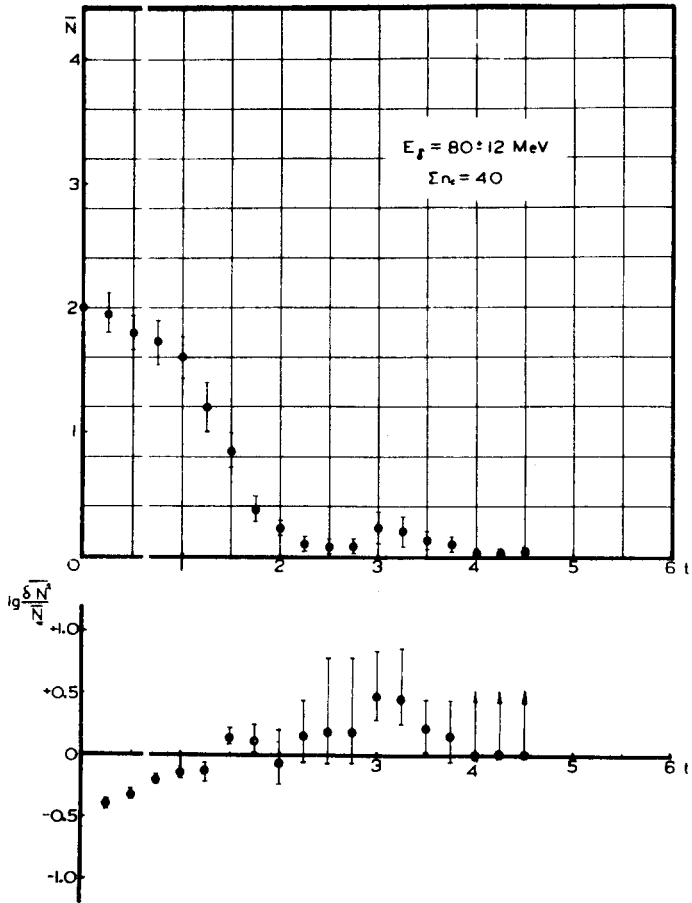


Рис.8. Каскадная кривая и флуктуации в ливнях с энергиями $E_\gamma = 80 \pm 12$ Мэв. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта

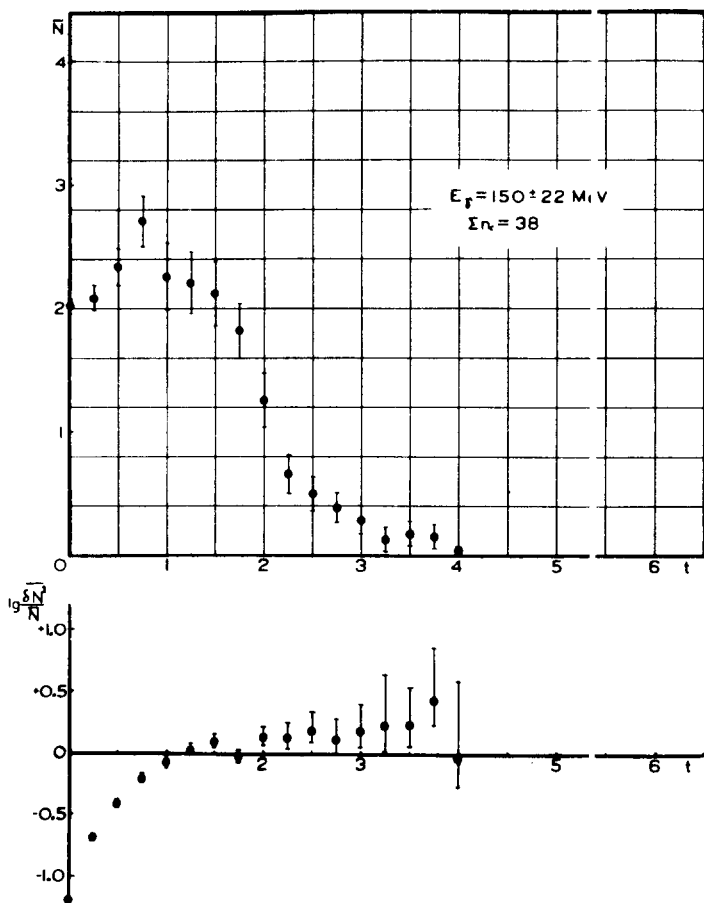


Рис.9. Каскадная кривая и флуктуации в ливнях с энергиями $E_\gamma = 150 \pm 22$ Мэв. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта.

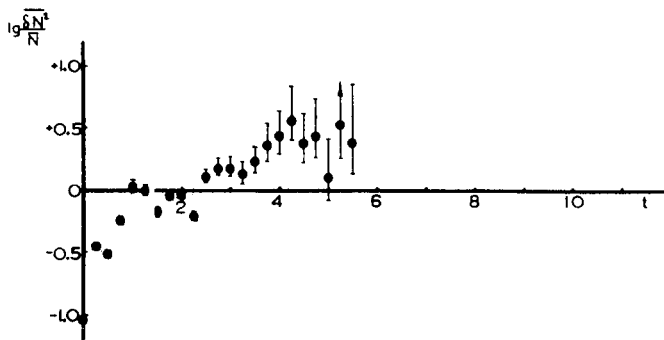
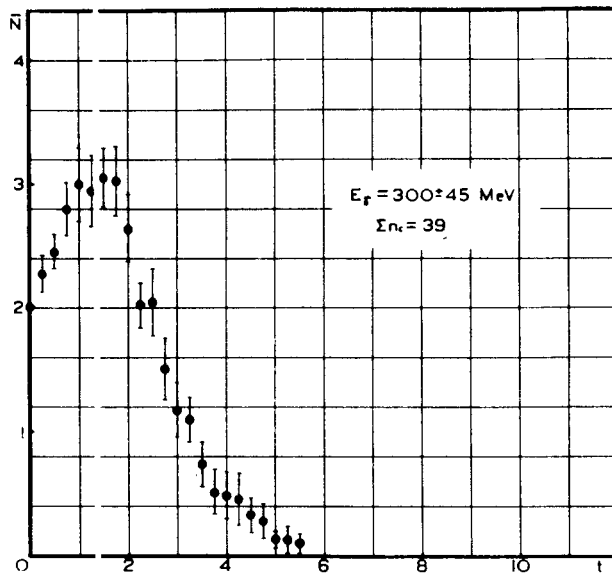


Рис.10. Каскадная кривая и флуктуации в ливнях с энергиями $E_\gamma = 300 \pm 45 \text{ МэВ}$. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта.

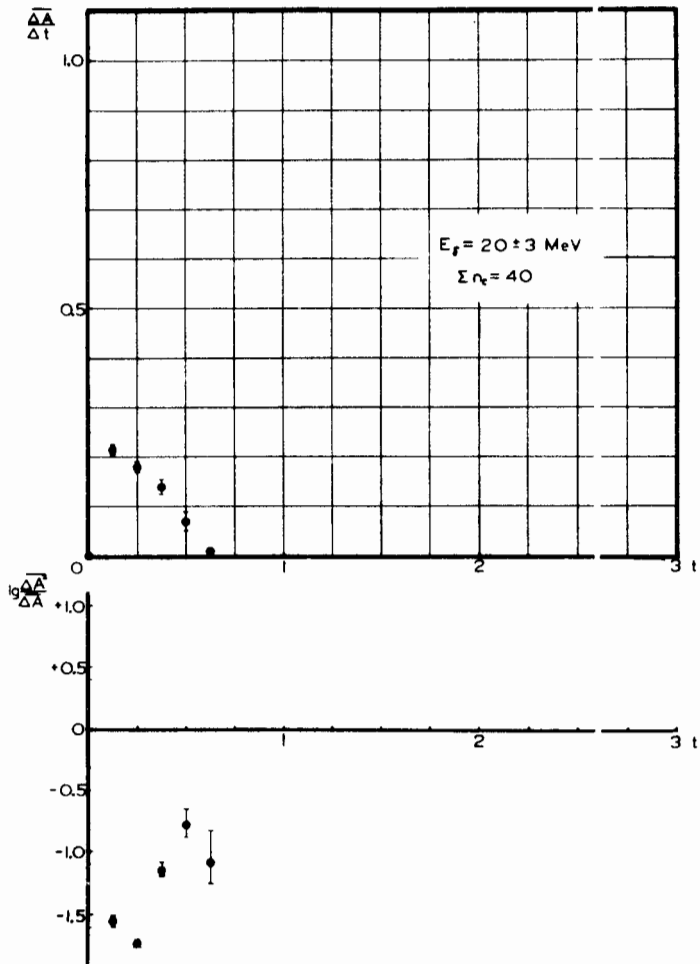


Рис.11. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами лавины, от глубины ее развития. Начало отсчета t – точка конверсии первичного γ -кванта.

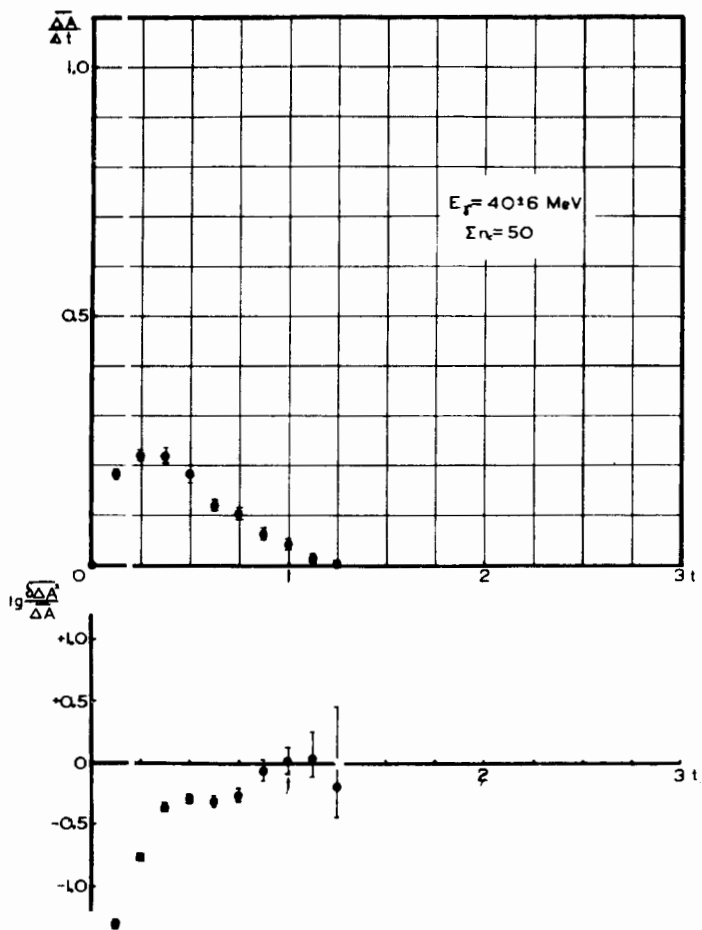


Рис.12. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами лавины, от глубины ее развития. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта.

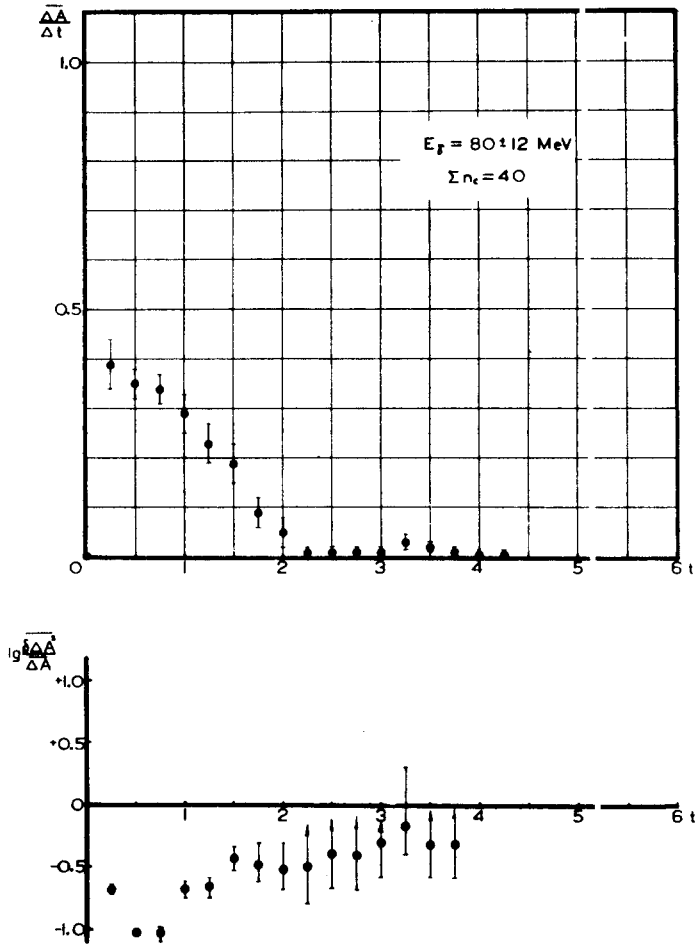


Рис.13. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами лавины, от глубины ее развития. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта.

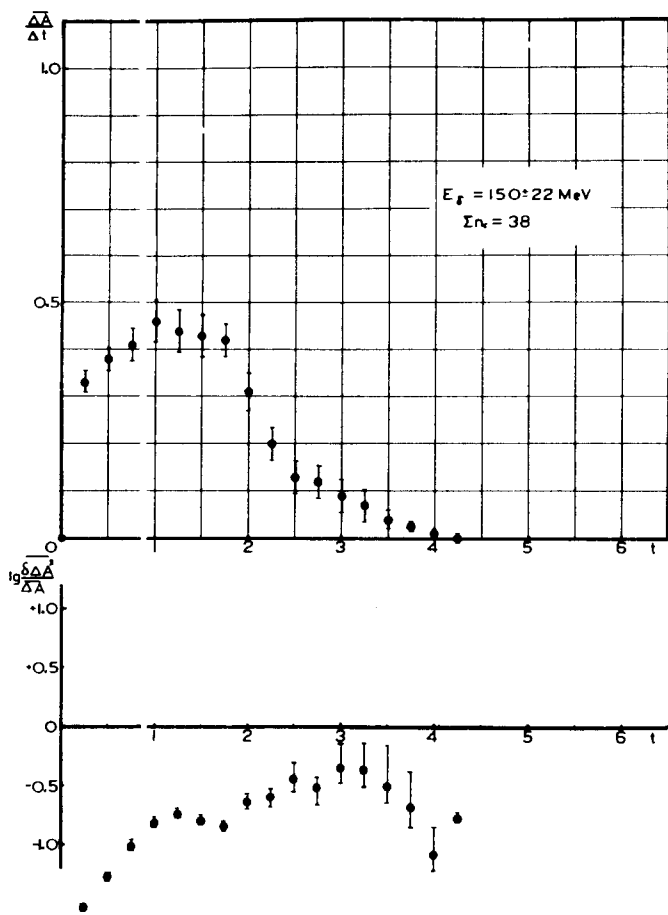


Рис.14. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами лавины, от глубины ее развития. Начало отсчета — точка конверсии первичного γ -кванта.

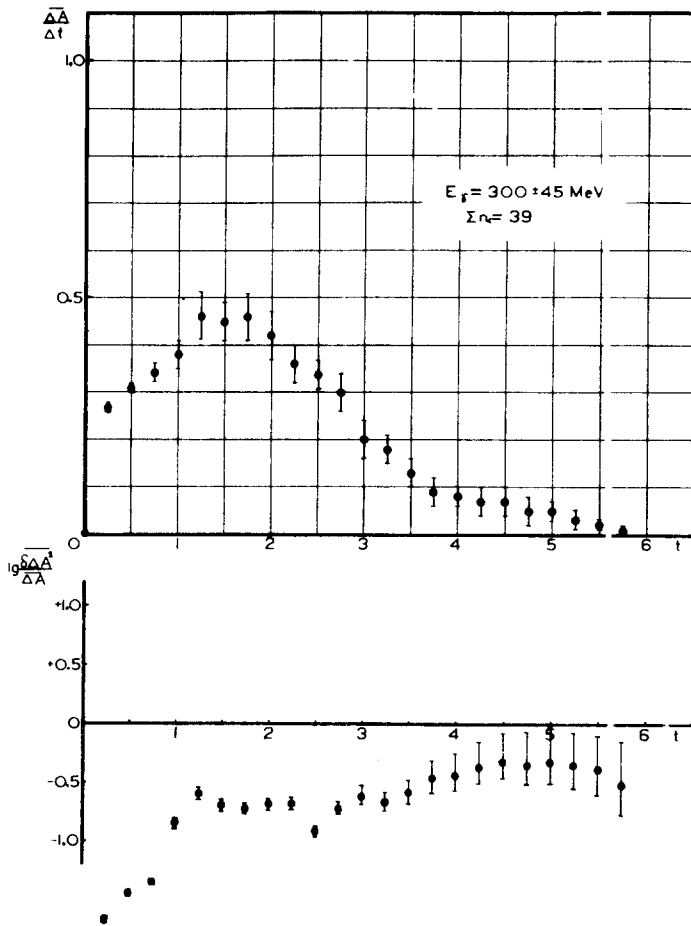


Рис.15. Зависимость энергии, выделенной на ионизацию среды электронами и позитронами лавины, от глубины ее развития. Начало отсчета t - точка конверсии первичного γ -кванта.

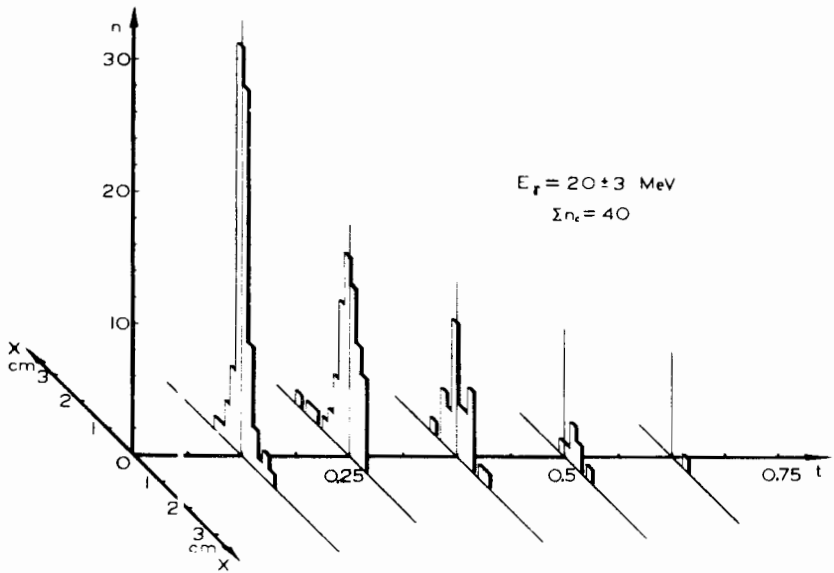


Рис.16. Распределения расстояний траекторий ливневых частиц от оси ливня на разных глубинах t .

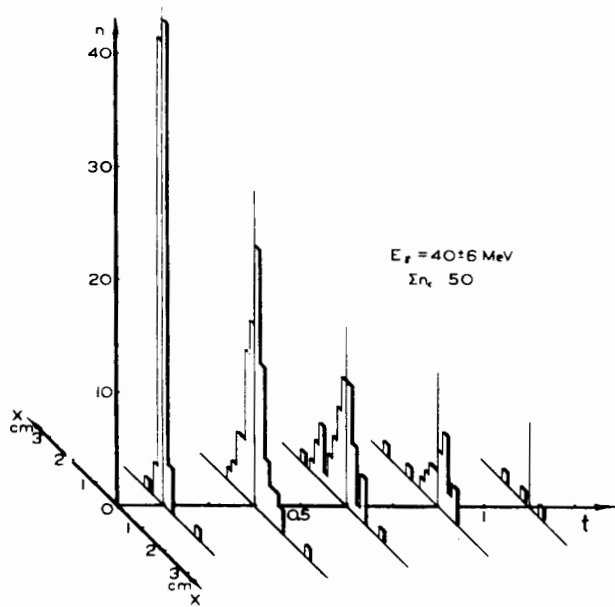


Рис.17. Распределения расстояний траекторий ливневых частиц от оси ливня на разных глубинах t .

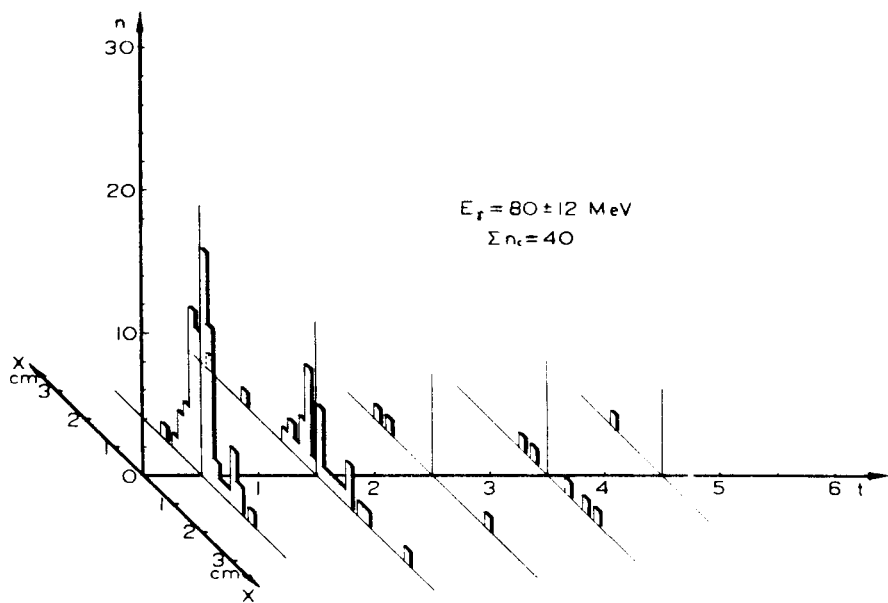


Рис.18. Распределения расстояний траектории живых частиц от оси пучка на разных глубинах t .

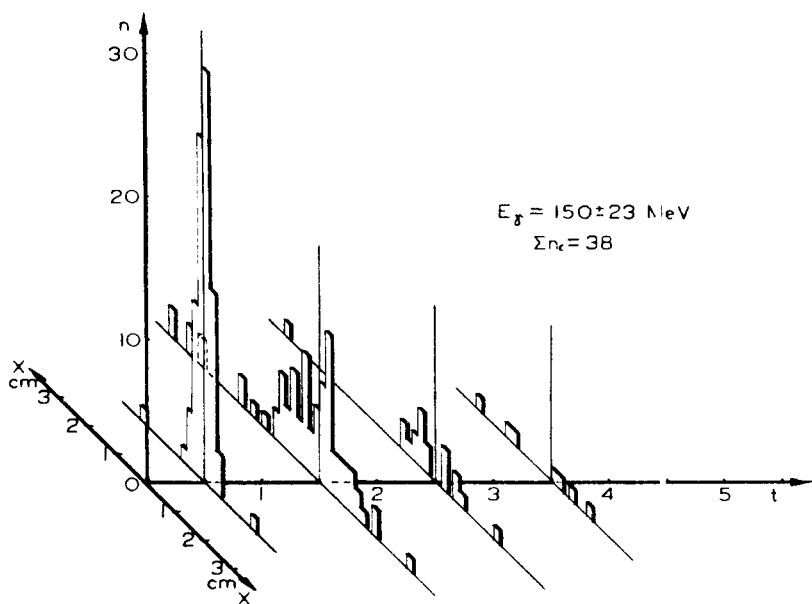


Рис.19. Распределения расстояний траектории живых частиц от оси пучка на разных глубинах t .

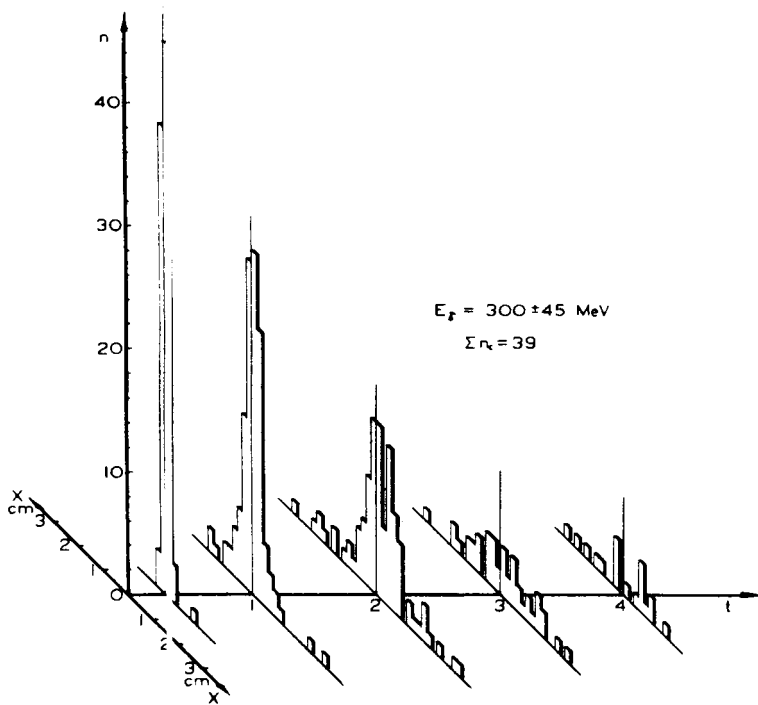
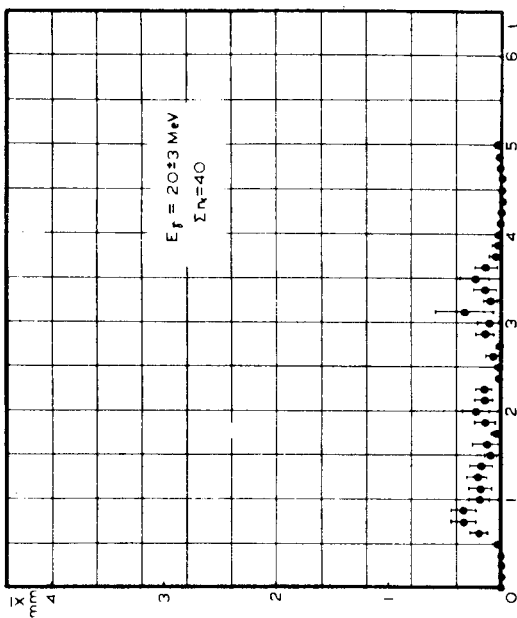


Рис.20. Распределения расстояний траекторий ливневых частиц от оси ливня на разных глубинах t .

а)



б)

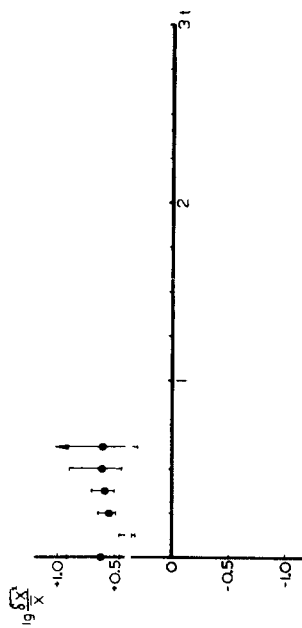
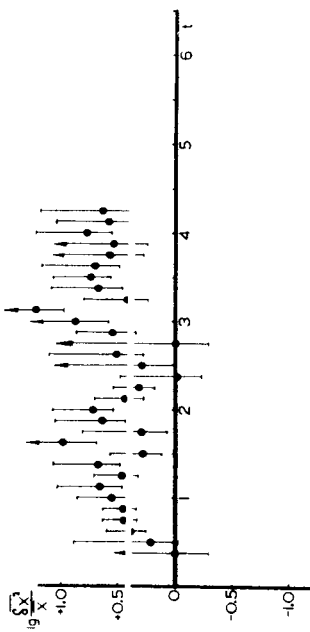
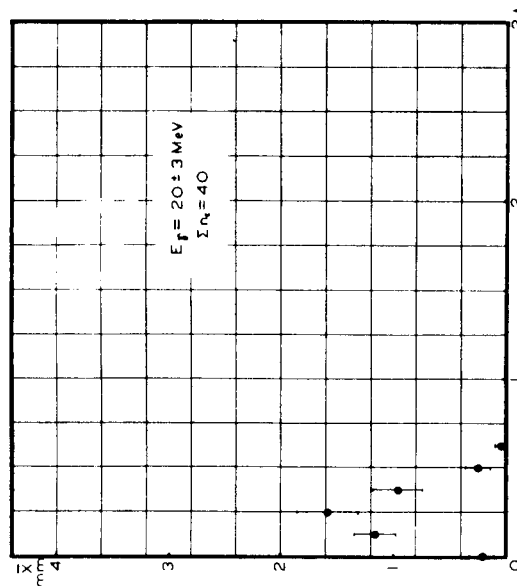
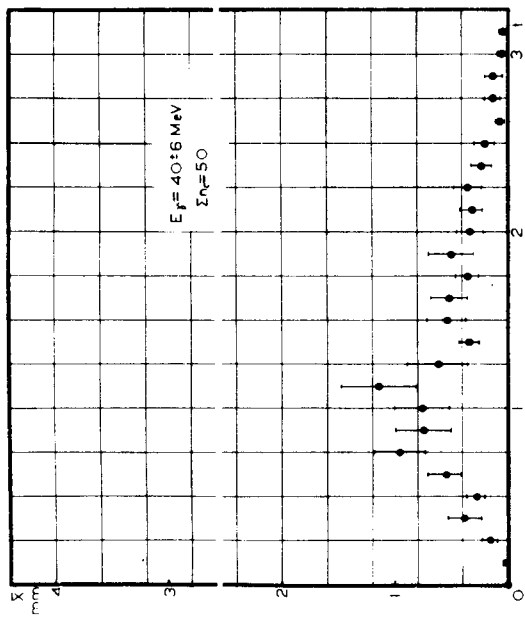


Рис.21. Средняя ширина линии $\bar{\chi}(t)$ в зависимости от глубины его развития: а) точка отсчета $(-P_1)$; б) точка отсчета $(-P_2)$.

a)



б)

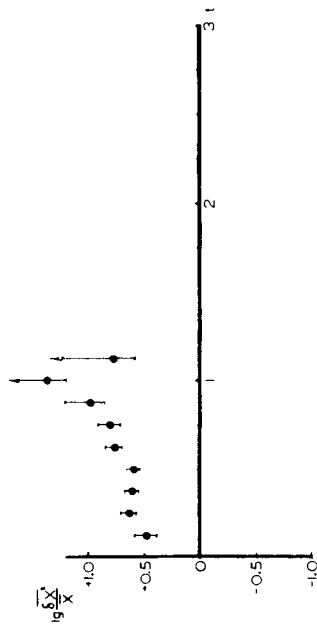
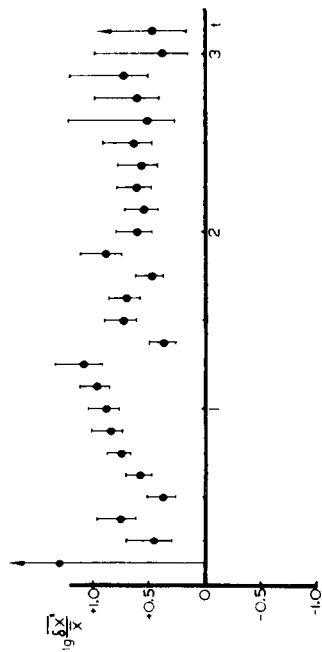
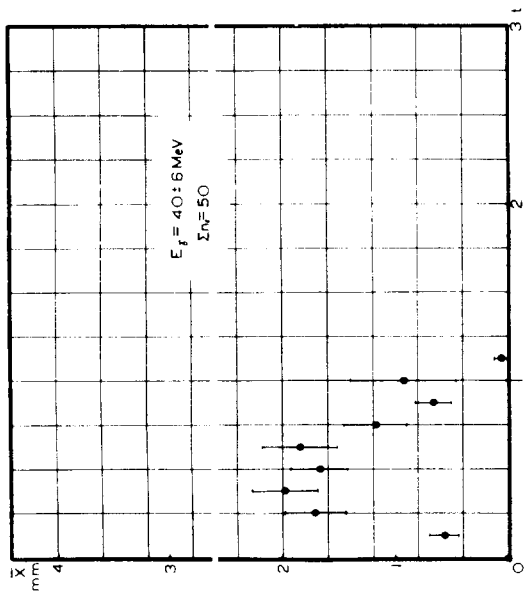
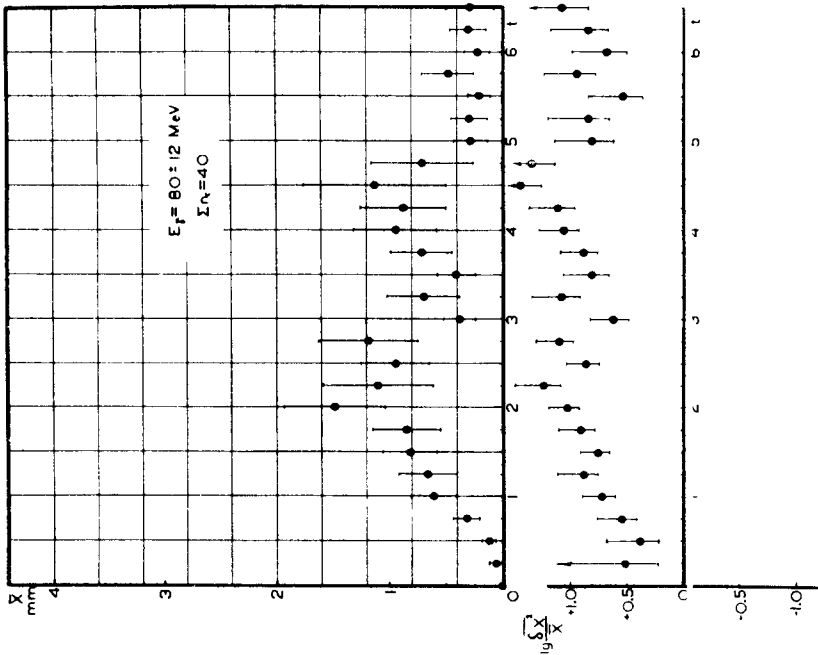


Рис.22. Средняя ширина линии $\bar{\chi}(t)$ в зависимости от глубины его развития: а) точка отсчета (-P); б) точка отсчета (-P).

a)



б)

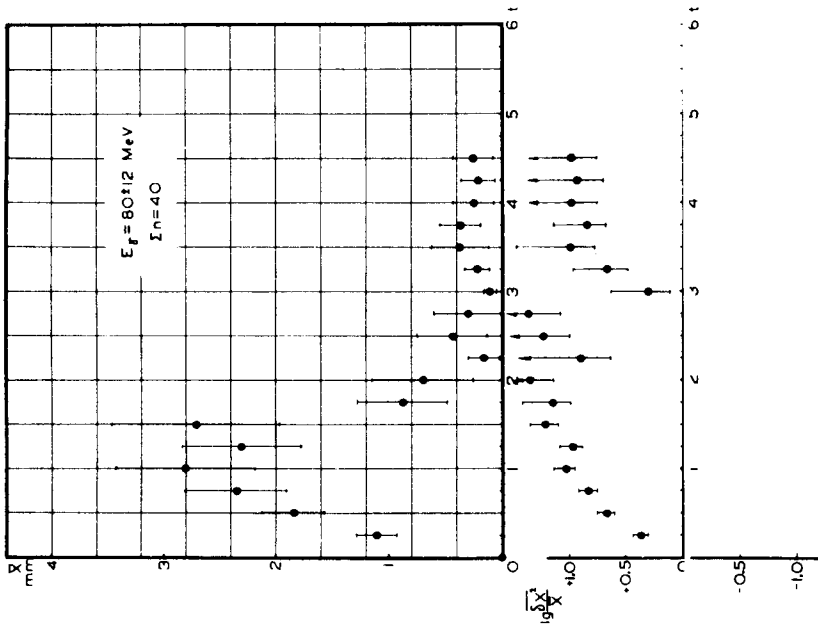


Рис.23. Средняя ширина линия $\bar{X}(t)$ в зависимости от глубины его развития: а) точка отсчета $(-P_1)$; б) точка отсчета $(-P_2)$.

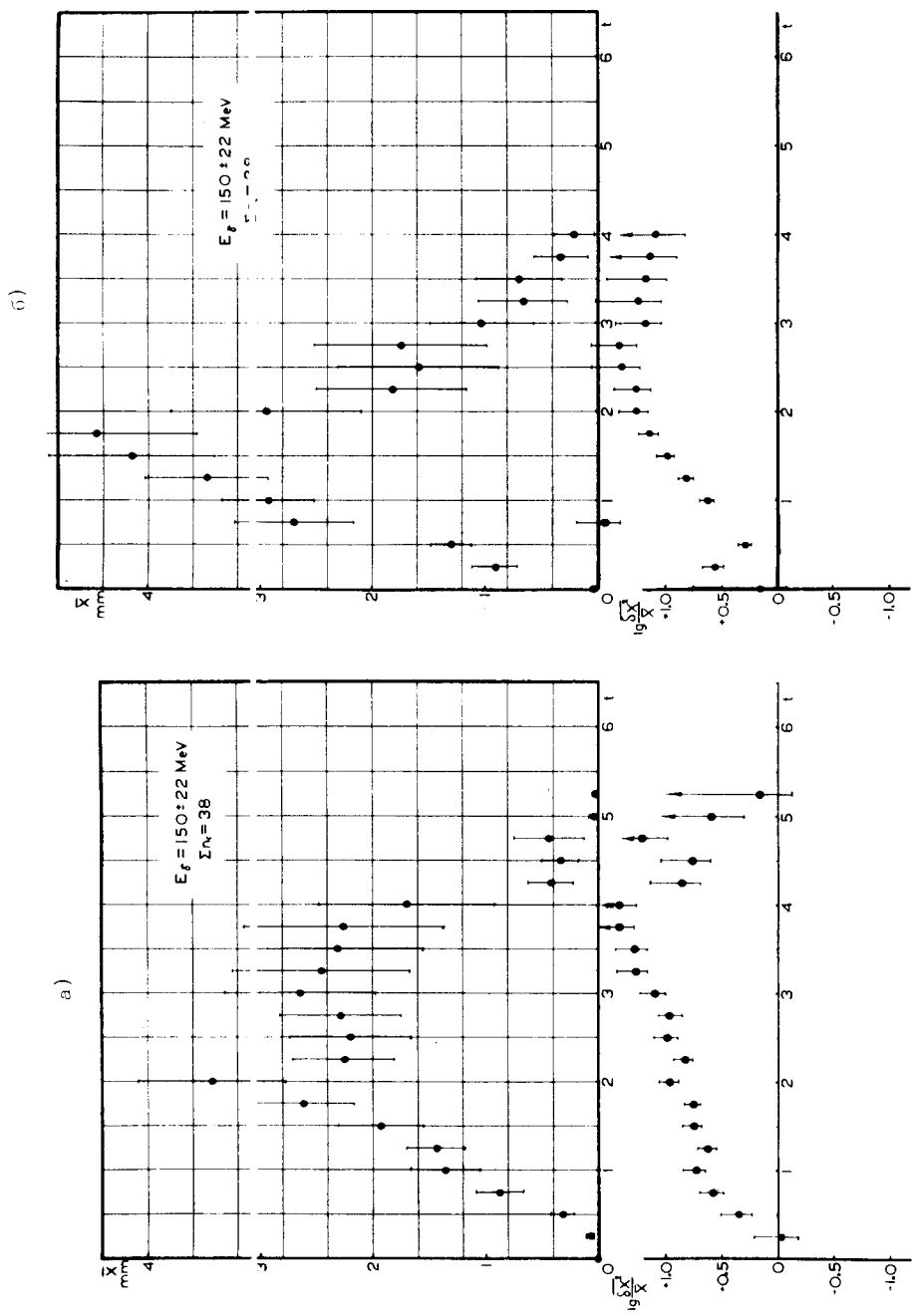
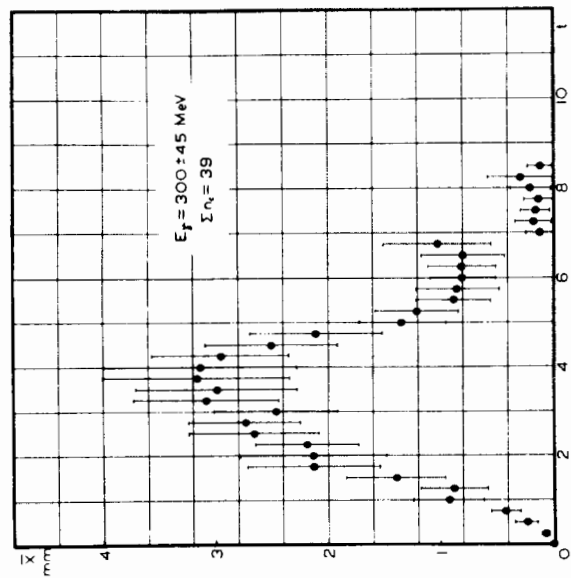


Рис.2.4. Средняя ширина линии $\bar{X}(t)$ в зависимости от глубины его развития: а) точка отсчета $(-P_1)$; б) точка отсчета $(-P_2)$.

а)



б)

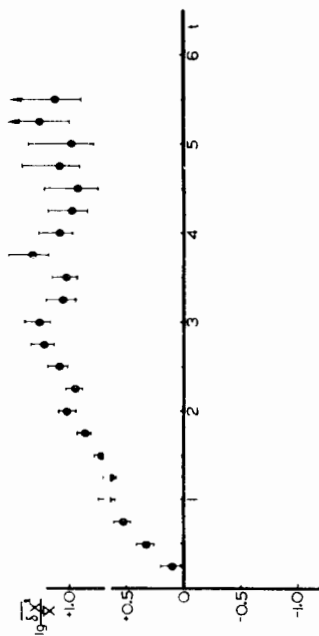
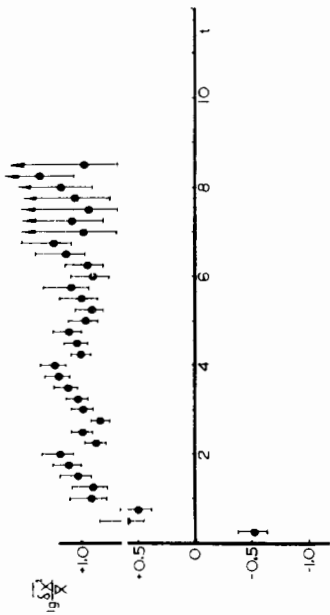
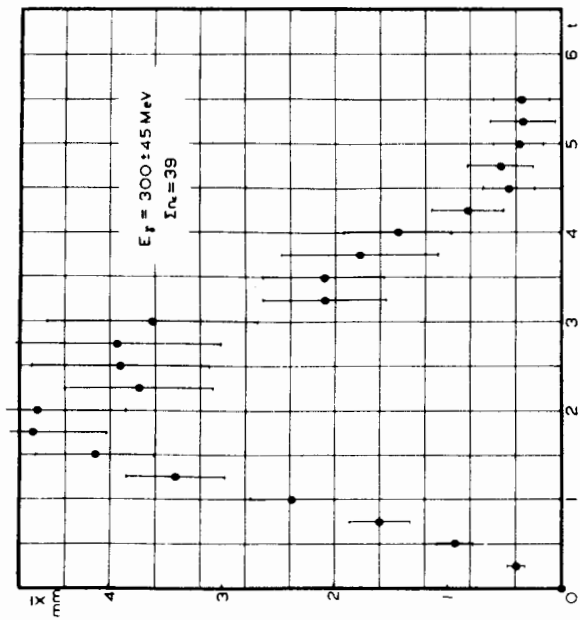


Рис.25. Средняя ширина линия $\chi(t)$ в зависимости от глубины его развития: а) точка отсчета $t - P_1$; б) точка отсчета $t - P_2$.

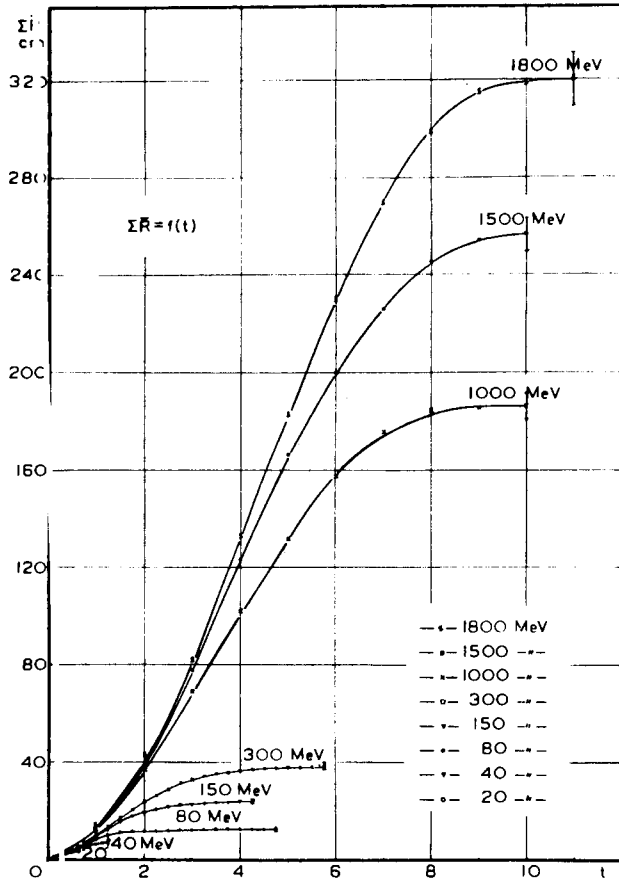


Рис.26. Зависимость полного пробега электронов и позитронов в ливне ΣR от глубины развития лавины t . Кривые, соответствующие энергиям свыше 300 Мэв, построены для случаев, исследуемых в ранее опубликованной работе /4/.

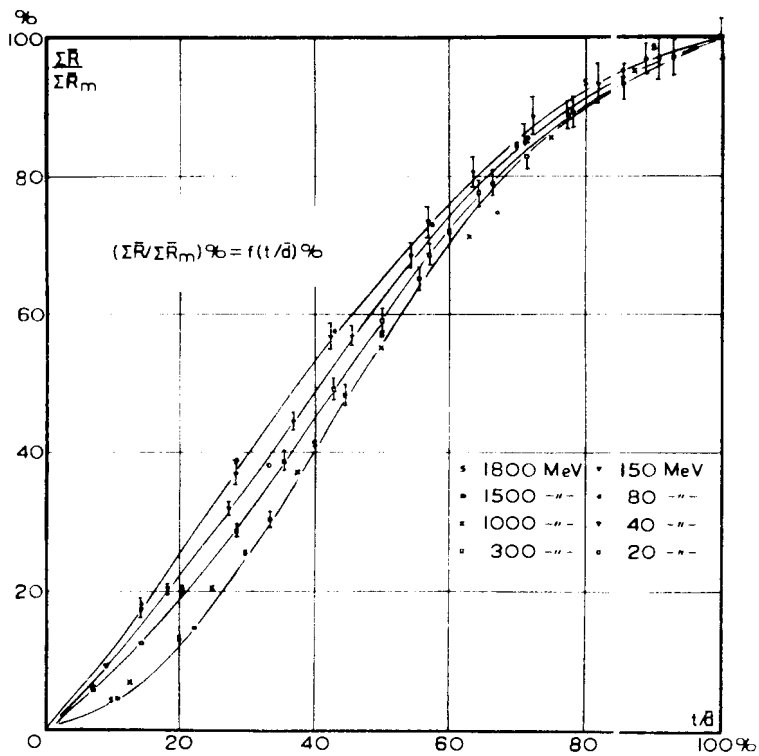


Рис.27. Зависимость $\frac{\Sigma \bar{R}}{\Sigma \bar{R}_m}$ от $\frac{t}{\bar{d}}$ при разных E_γ .