

Г.62

АКАДЕМИЯ НАУК СССР СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

препринт 195

П.И.Голубничий, А.П.Онучин

Ливни, образованные в свинце и меди  
 $\gamma$ -квантами с энергией 127 мэв



Новосибирск  
1968

V

+

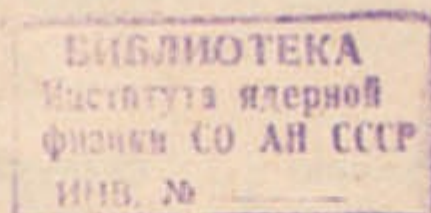


П.И.Голубничий, А.П.Онучин

ЛИВНИ, ОБРАЗОВАННЫЕ В СВИНЦЕ И МЕДИ  
 $\gamma$ -КВАНТАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 127 Мэв

### А Н Н О Т А Ц И Я

В работе изучались средние потери энергии и флуктуации этих потерь на глубинах до 10 Х<sub>0</sub> в ливнях, образованных  $\gamma$ -квантами с энергией 127 Мэв. Проведено измерение эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов счётчиком с разным количеством пластин из радиатора и сцинтиллятора.





разованных  $\gamma$ -квантами. Между тем, ливни от электронов и  $\gamma$ -квантов, особенно в области толщины до положения максимума ливня, заметно отличаются.

Эксперименты с  $\gamma$ -квантами по определению эффективности систем сцинтилляционных счётчиков /13-16/ касаются только малых толщин радиаторов, в работах не приводятся данные о зависимости эффективности от энергетического порога регистрации. Поэтому для расчёта эффективности даже похожих систем счётчиков эти результаты трудно использовать.

Данная работа первоначально ставилась как изучение счётчика полного поглощения /17/ и некоторых его модификаций для регистрации  $\gamma$ -квантов. Однако при обработке экспериментальных результатов стало ясно, что некоторые данные представляют интерес для изучения развития электромагнитных ливней.

## 2. Постановка эксперимента

Измерения проведены с пучком монохроматических  $\gamma$ -квантов, полученных на электронном накопителе ВЭП-1 /18-20/. Энергия выделяемых  $\gamma$ -квантов составляет 127 Мэв. Геометрическая схема эксперимента показана на рис.1.

Изучение развития ливней производилось с помощью сцинтилляционного счётчика полного поглощения типа сэндвич /17/. Сцинтилляционные пластины из полистирольной пластмассы имели размеры  $200 \times 200 \text{ мм}^2$  и толщину 5 мм. Для улучшения условий собирания света каждая пластина была обернута ватманом. В направлении движения  $\gamma$ -квантов полный размер счётчика со-

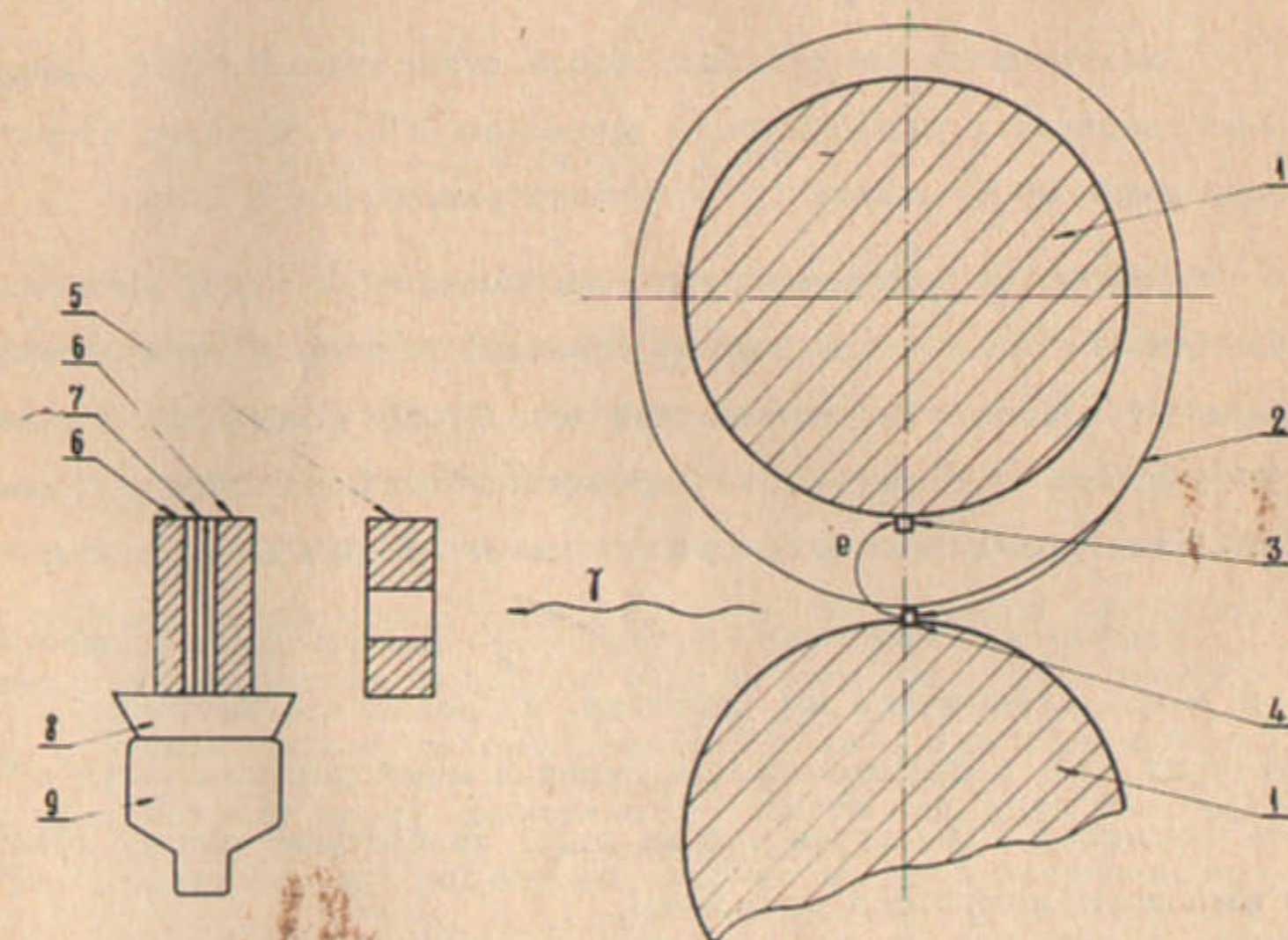


Рис.1. Геометрическая схема эксперимента: 1 - магниты накопителя ВЭП, 2 - равновесная орбита, 3 - счётчик вторичных электронов, 4 - мишень, 5 - свинцовый коллиматор, 6 - радиатор, 7 - сцинтиллятор, 8 - световод, 9 - фотоумножитель.



ставлял 25 см. Свет от сцинтилляционных пластин с помощью световода собирался на фотоумножитель ФЭУ-65.

На пути от мишени до изучаемого материала  $\gamma$ -кванты проходят 1 см стекла (выходное окно накопителя) и 0,5 см стали (передняя стенка счётчика). Диаметр отверстия свинцового коллиматора равен 9 см, расстояние от коллиматора до выходного окна накопителя 1 метр.

Электроника представляла собой стандартный быстро-медленный вариант с разрешающим временем  $2\tau = 10$  нсек. Порог дискриминации по каналу  $\gamma$ -счётчика равнялся 0,5 Мэв.

Измерения начинались при токе пучка 5 ма ( $3 \cdot 10^8$  электронов), время жизни пучка поддерживалось равным 55 сек; время жизни без мишени составляло 400 сек. За один цикл измерения длительностью 200 сек, регистрировалось примерно 3000  $\gamma$ -квантов. Случайные совпадения составляли около 20% от эффекта.

Абсолютное измерение потока  $\gamma$ -квантов было произведено с помощью этого же счётчика, собранного в варианте сэндвича /17/: 32 свинцовых и сцинтилляционных пластины, общей толщиной  $7 X_0$  (кривая 5 на рис.7 изображает форму спектра амплитуд импульсов сэндвича).

Было проведено две серии измерений. В первой из них изучались средние потери энергии и их флуктуации на разных глубинах радиатора. Эти результаты относятся к стандартной задаче о продольном развитии ливня. Вторая серия измерений относится к вопросам определения эффективности  $\gamma$ -телескопов.

Для изучения развития ливня использовались три сцинтил-

ляционные пластины, перед которыми ставились пластины из свинца или меди разной толщины. После сцинтилляторов стояли пластины толщиной  $3 X_0$  соответственно из свинца или меди. При изучении  $\gamma$ -телескопа брались разные толщины радиатора и разбивались на несколько групп, между которыми вставлялось по 3 сцинтилляционных пластины. Дальше буквой  $t$  будет обозначаться полная толщина радиатора, выраженная в радиационных единицах /21/ ( $Pb$   $1 X_0 = 6,4$  г/см<sup>2</sup>,  $Si$   $1 X_0 = 13,0$  г/см<sup>2</sup>).

### 3. Развитие ливня

На рис.2 и 3 приведены спектры амплитуд импульсов со счётчика при разных толщинах радиатора перед сцинтиллятором. Формы этих кривых представляют интерес для проблемы изучения флуктуаций развития ливней. Для удобства по экспериментальным точкам проведены плавные кривые. Кривая 1 относится к случаю, когда перед сцинтиллятором не ставился радиатор, а его роль выполняют выходное окно накопителя и передняя стенка счётчика (общая толщина около  $0,4 X_0$ ). Два пика относятся к прохождению через сцинтиллятор одного или двух электронов. Для других толщин радиатора среднее число электронов, прошедших через сцинтиллятор, определялось по положению центра тяжести амплитудного спектра с нормировкой на данные кривой 1.

На рис.4 приведены результаты измерения эффективности регистрации ливней. Для сравнения здесь же приведены расчётные результаты работы /12/ для  $\gamma$ -квантов с энергией 100 Мэв.



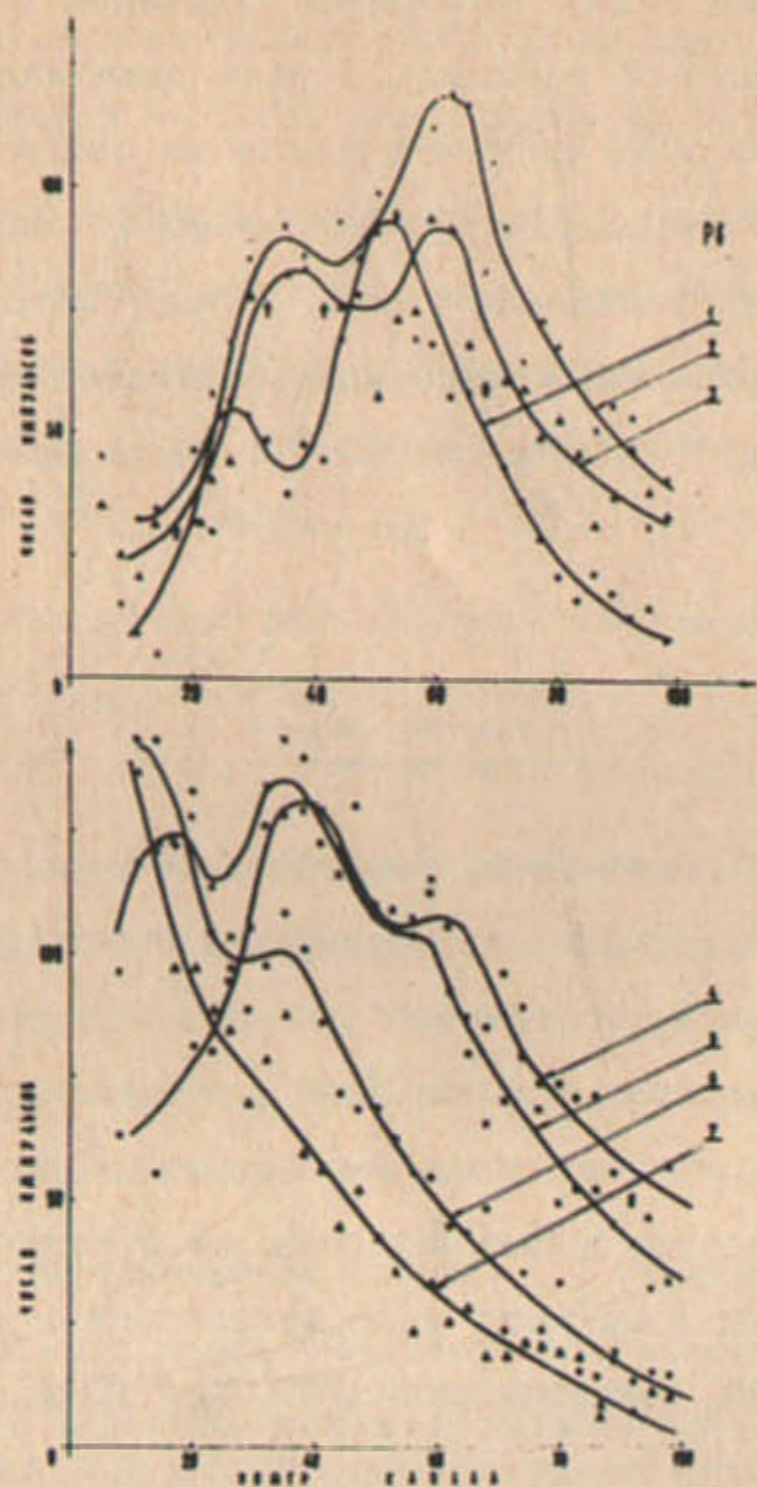


Рис.2. Спектры амплитуд импульсов счётчика при разных толщинах свинца перед сцинтиллятором: 1 - без дополнительного радиатора ; 2 - 1,25  $X_0$  , 3 - 2,1  $X_0$  , 4 - 3  $X_0$  , 5 - 4,7  $X_0$  , 6 - 7,3  $X_0$  , 7 - 9  $X_0$ .

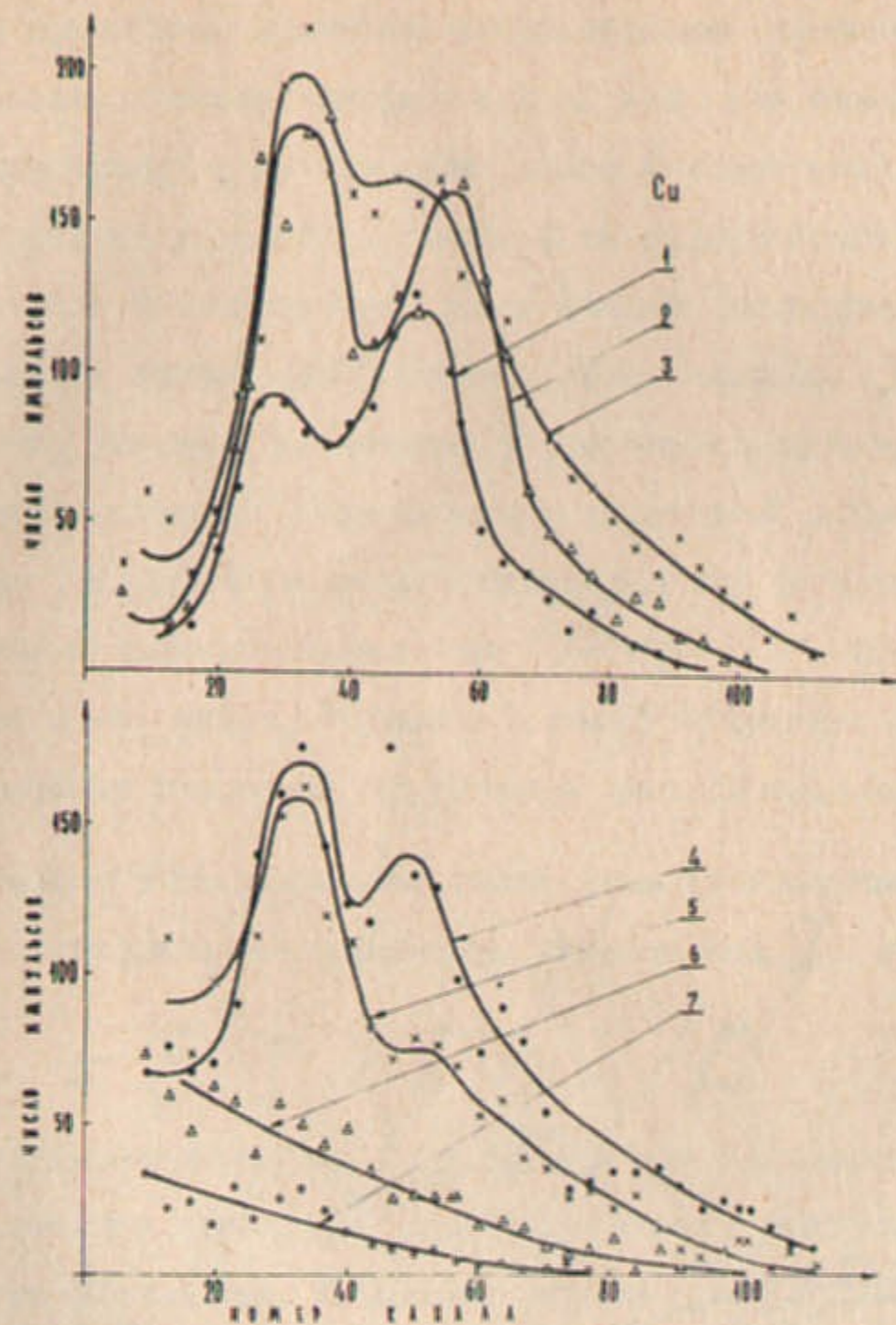


Рис.3. Спектры амплитуд импульсов счётчика при разных толщинах меди перед сцинтиллятором: 1 - без дополнительного радиатора; 2 - 1,4  $X_0$  , 3 - 2,4  $X_0$  , 4 - 3,4  $X_0$  , 5 - 5,3  $X_0$  , 6 - 8,3  $X_0$  , 7 - 10,3  $X_0$ .



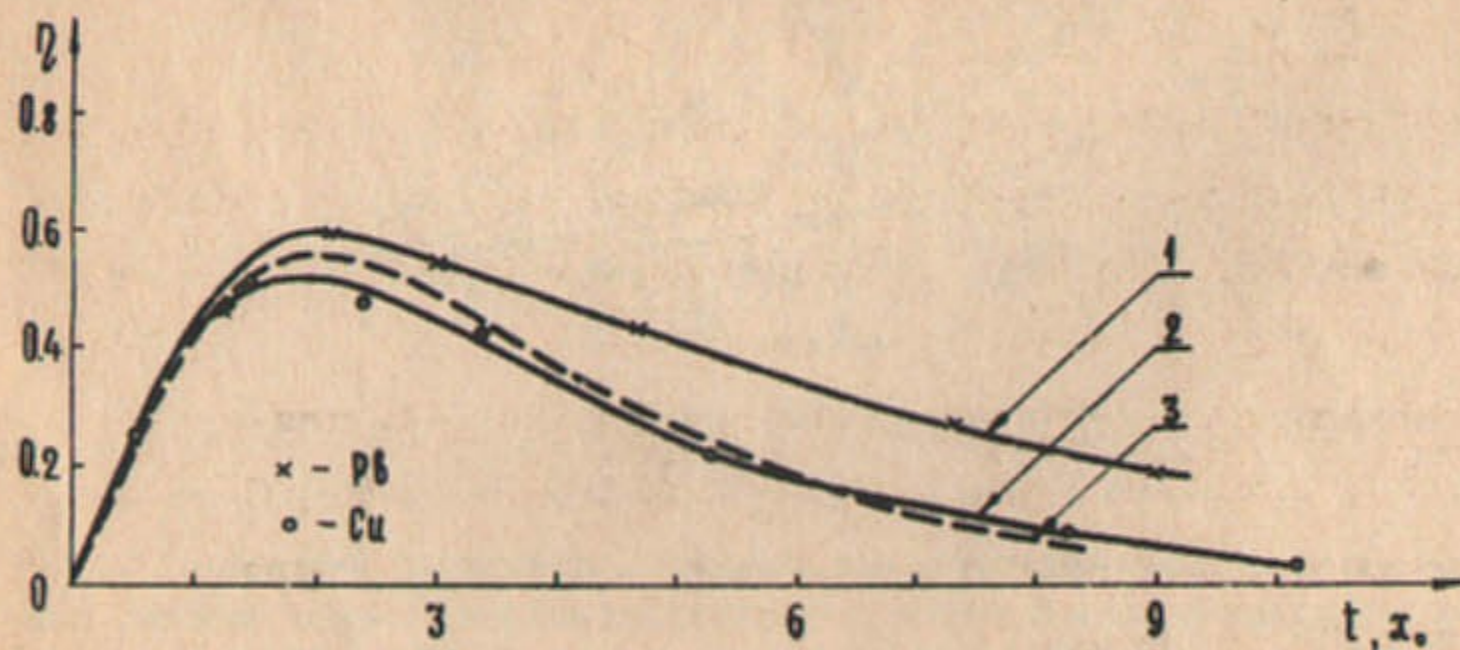


Рис.4. Зависимость эффективности регистрации ливня от толщины радиатора перед сцинтиллятором: 1 - свинец, 2 - медь, 3 - результаты работы /12/ для  $E_\gamma = 100$  Мэв.

На рис.5 пунктиром изображены каскадные кривые, полученные на основании данных рисунков 2, 3 и 4. На самом деле эти кривые характеризуют не среднее число электронов, а средние потери энергии на данной глубине. Для определения среднего числа электронов в эти данные надо внести поправки на угловую расходимость ливня. Для ливней, образованных  $\gamma$ -квантами, отсутствуют данные по угловому распределению частиц, поэтому были использованы результаты для ливней, образованных электронами /5, 8/. При этом считалось, что функция углового распределения зависит только от  $t/t_{max}$ , где  $t_{max}$  - положение максимума ливня. Кривые 2 рис.5 получены из кривых 1 после внесения поправок на угловую расходимость.

Следуя работе /5/, запишем связь между энергией  $\gamma$ -кванта  $E_\gamma$  и интегральным пробегом электронов  $I$  в виде

$$E_\gamma = \varepsilon I \langle \overline{sc\theta} \rangle / \rho$$

где  $\varepsilon$  - критические энергии,  $\langle \overline{sc\theta} \rangle$  - усредненный секанс угловой расходимости ливня,  $\rho$  - коэффициент, учитывающий введение энергии обрезания. В нашем случае  $I \langle \overline{sc\theta} \rangle$  есть интеграл от кривых 1 (рис.5), не связанных с поправками на угловую расходимость. Численное интегрирование дало для свинца  $I \langle \overline{sc\theta} \rangle = 7,2 X_0$  и для меди  $I \langle \overline{sc\theta} \rangle = 4,8 X_0$ . Считая критическую энергию /21/ для свинца  $\varepsilon = 7,4$  Мэв и для меди  $\varepsilon = 18,8$  Мэв, получаем

$$\rho = 0,42 \pm 0,10 \text{ для свинца и}$$

$$\rho = 0,72 \pm 0,15 \text{ для меди.}$$



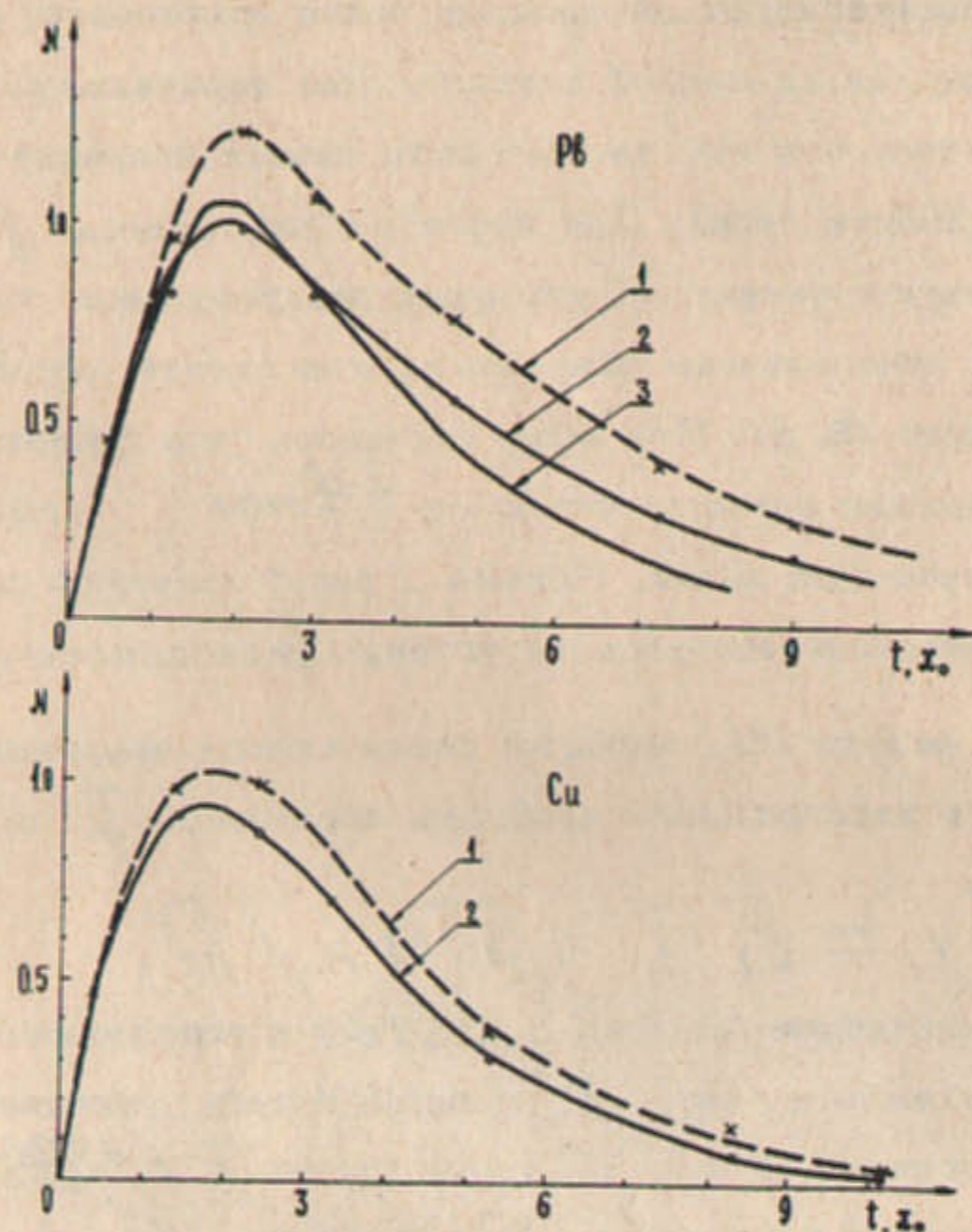


Рис.5. Каскадные кривые для свинца и меди. Крестиками обозначены экспериментальные точки без учёта угловой расходимости, точки — результаты с поправками на угловую расходимость. Кривая 3 — результаты работы /12/ для  $E_{\gamma} = 100$  Мэв.

Следует заметить, что отличие коэффициента  $P$  от 1 в работах с трековыми приборами /5,8/ связано с тем, что при обработке вводится обрезание по энергии электронов около 1 Мэв. В данной работе такого обрезания нет, поскольку используется метод измерения потерь энергии в сцинтилляторе. Порог дискриминации электроники (около 0,5 Мэв) не играет заметной роли, так как он относится к суммарным потерям энергии всех частиц.

Отличие коэффициента  $P$  от 1 в нашем случае объясняется, в основном, конечной толщиной сцинтиллятора. Считая, что распределение электронов по энергии подчиняется закону равновесного спектра Тамма-Беленького /22/, видно, что выделение потерь энергии по толщине сцинтиллятора происходит неравномерно. Это приводит к тому, что измеренные таким способом потери энергии на единицу длины радиатора оказываются заниженными. Для свинца некоторую роль играет также бумага, которой обернуты сцинтилляторы /17/. Толщина бумаги  $0,035 \text{ г/см}^2$  обрезает электроны с энергией около 0,2 Мэв. Численные оценки двух этих эффектов согласуются с экспериментальным значением  $P$ .

#### 4. $\gamma$ -телескоп

Как уже указывалось, при изучении развития ливня с точки зрения измерения эффективности  $\gamma$ -телескопов радиатор разбивался на несколько групп, между которыми вставлялись сцинтилляторы. Толщина группы составляла, примерно, одну радиационную единицу. Измерения проведены с одной, двумя, тремя и пятью группами.

Результаты измерения эффективности приведены на рис.6.



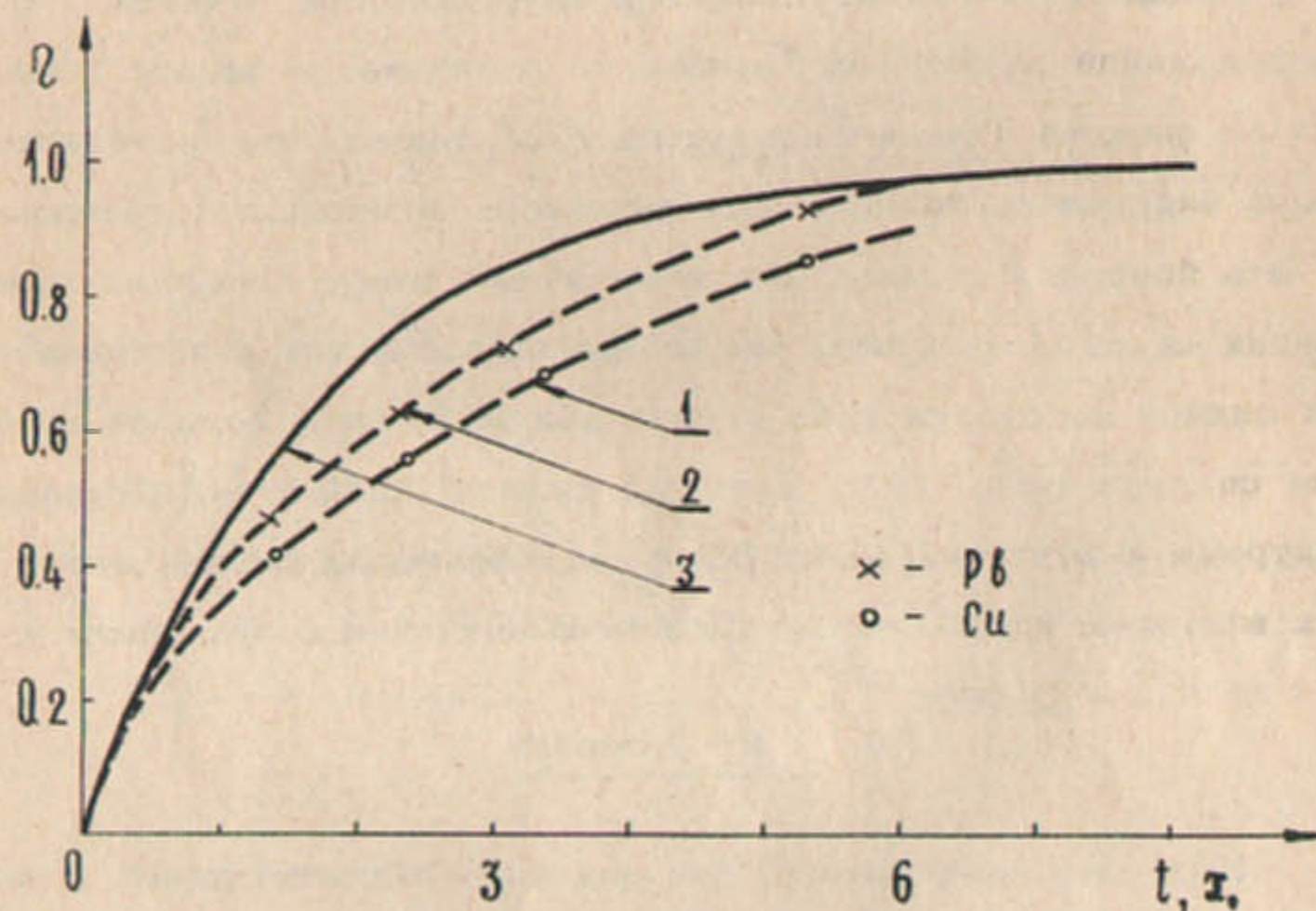


Рис.6. Зависимость эффективности регистрации  $\gamma$ -кванта от толщины радиатора. Сцинтилляторы стоят через 1 Хо. 1 и 2 - относятся соответственно к *Си* и *Рв*, 3 - расчётное значение вероятности взаимодействия  $\gamma$ -кванта на данной толщине.

Сплошная кривая - расчётное значение вероятности взаимодействия  $\gamma$ -кванта на данной толщине ( $1 - e^{-3t}$ ).

На рис.7 приведены спектры амплитуд импульсов для разных вариантов сборки счётчика. На основании этих данных можно произвести расчёт эффективности для произвольных порогов дискриминации.

Сравнивая рис.4 и 6 нетрудно видеть, что при расстоянии между сцинтилляторами в одну радиационную единицу флуктуации выделения энергии не являются независимыми. Так для двух групп, если считать флуктуации независимыми, на основании рис.4, эффективность должна составлять 0,79, в то время, как экспериментальное значение равно 0,63. Это находится в согласии с результатами работы /10/, в которой показано, что корреляции флуктуаций наблюдаются до расстояний в 2-3 радиационных единицы.

В заключение авторы выражают благодарность за помощь в измерениях коллективу установки ВЭП-1 и А.Г.Хабахпашеву за полезную дискуссию.



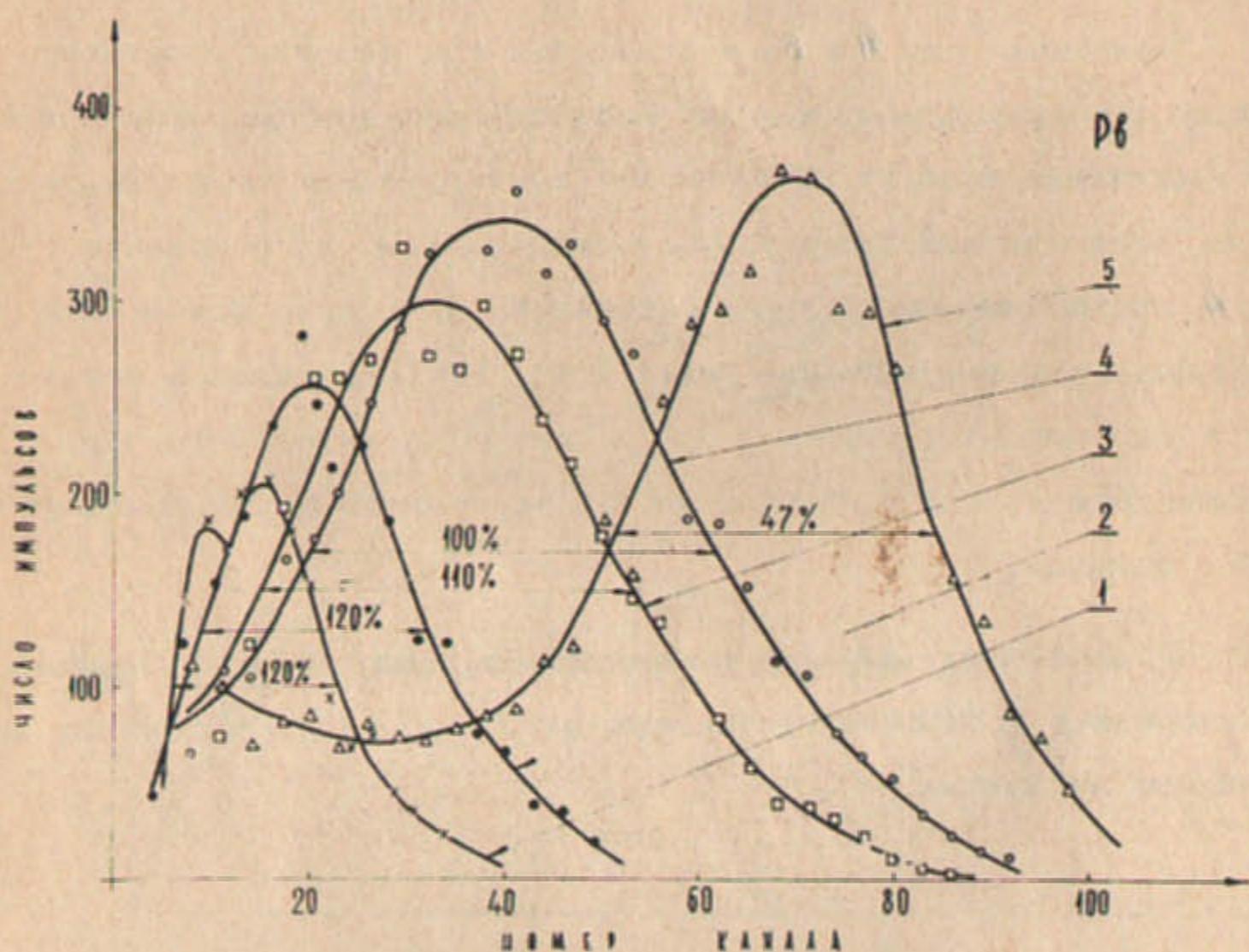


Рис.7. Спектры амплитуд импульсов счётчика в варианте  $\gamma$ -телефоскопа: 1, 2, 3 и 4 относятся соответственно к одной, двум, трем и пяти группам радиатора и сцинтиллятора, 5 - сандвич (32 свинцовых и сцинтилляционных пластины, общей толщиной  $7 X_0$ ).

### Л и т е р а т у р а

1. С.З.Беленький, И.П.Иваненко, УФН, 69, 591, 1959.
2. D.F.Crawford, H.Messel, Phys Rev 128, 2352, 1962
3. H.Messel, I.D.Smirnov, et. A.Vazfolomeev, D.F.Crawford J.Ch. Butcher Nucl.Phys. 39, 1, 1962.
4. E.E.Beclin, J.A.Earl, Phys.Rev. 136 B237, 1964,
5. О.А.Займидорога, Ю.Д.Прокошкин, В.М.Цупко-Ситников, ЖЭТФ, 51, 749, 1966.
6. W.Blocker, R.W.Kenney, W.K.H.Panofsky Phys.Rev. 79, 419, 1950
7. A.Kantz, R.Hofstadter, Nucleonics 12, N 3,36, 1954.
8. H.Kengeler, W.Te Jessy, M.Dentschmann Zs. Phys. 175, 283, 1963.
9. H.Thom, Phys. Rev. 136, B447, 1964.
10. О.А.Займидорога, Ю.Д.Прокошкин, В.М.Цупко-Ситников, Препринт ОИЯИ Р-2846, Дубна, 1966.
11. А.Г.Гапотченко, Б.Б.Говорков, С.П.Денисов, Н.Г.Котельников, Д.А.Стойнова, Препринт ФИАН, 1966 г.
12. В.М.Цупко-Ситников. Автореферат диссертации, Институт физики высоких энергий, Серпухов, 1967 г.
13. W.K.H.Panofsky, J.W.Steinberger, J.S.Steller, Phys. Rev. 86, 180, 1952.



14. *C. Cossioni, A. Silverman, Phys. Rev.*  
88, 1230, 1952.
15. П.С.Баранов, Л.И.Словохотов, Г.А.Соколов, Л.Н.Штарков,  
ПТЭ № 3, 63, 1961.
16. В.П.Агафонов, Б.Б.Говорков, С.П.Денисов, Е.В.Минарик,  
ПТЭ № 5, 47, 1962.
17. П.И.Голубничий, А.П.Онучин. Счётчик полного поглощения  
типа сэндвич. Препринт ИЯФ, Новосибирск, № 183, 1968г.
18. Л.С.Коробейников, Л.М.Курдадзе, А.П.Онучин, С.Г.Попов,  
Г.М.Тумайкин, ЯФ 6, 84, 1967.
19. Г.И.Будкер, А.П.Онучин, С.Г.Попов, Г.М.Тумайкин, ЯФ,  
6, 775, 1967.
20. П.И.Голубничий, Л.М.Курдадзе, Д.М.Николенко, А.П.Онучин,  
С.Г.Попов, В.А.Сидоров. Препринт ИЯФ, Новосибирск, № 189,  
1968 г.
21. И.О.Довженко, А.А.Поманский, ЖЭТФ 45, 268, 1963.
22. С.З.Беленький. Лавинные процессы в космических лучах.  
Гостехиздат, 1948 г.