

971

17.5

7
E-30



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория ядерных проблем

Л.Б. Егоров, А.Е. Игнатиенко, А.В. Куцлов, М.Г. Петрашк

P-971

К ВОПРОСУ ОБ АНОМАЛИИ
ПРИ РАСПАДЕ μ^- -МЕЗОНОВ В МЕЗОАТОМАХ
ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА

ЖЭТФ, 1962, т43, в4, с 1149-1153.

СЕРИ, абст. 95.

Л.Б. Егоров, А.Е. Игнатенко, А.В. Купцов, М.Г. Петрашку

P-971

К ВОПРОСУ ОБ АНОМАЛИИ
ПРИ РАСПАДЕ μ^- -МЕЗОНОВ В МЕЗОАТОМАХ
ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА

1461/2 а 40

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1962 год

1. Введение

В работах^{/1-4/} было сообщено об абсолютных измерениях величин R - отношений вероятности распада μ^- -мезонов в мезоатомах к вероятности распада "свободных" μ^- -мезонов. Значения величин R указывают на существование аномалии в переходных металлах группы железа. Теоретическое рассмотрение^{/5-7/} этих вопросов показывает, что при учете всех возможных тривиальных эффектов в мезоатомах не удается объяснить наблюдаемую аномалию. Измерения относительных выходов электронов от распада μ^- -мезонов в мезоатомах переходных металлов палладия, титана и их гидридов^{/8/} прямо указывают на отсутствие нетривиальных эффектов, обусловленных неспаренными электронами в атомах. В работах^{/7, 8/} было отмечено, что наблюдаемая аномалия, возможно, является скорее аппаратным эффектом, нежели нетривиальным явлением. Так, одной из причин могла бы явиться большая на порядок по сравнению с оцененной в работах^{/1-4/} эффективность регистрации γ -лучей с энергией меньше 10 Мэв, испущенных из ядер в результате захвата μ^- -мезонов. С целью проверки результатов работ^{/1-4/} и предсказаний, сделанных в работах^{/7,9/} мы провели относительные измерения величин R в мезоатомах железа и цинка, а также никеля и меди.

2. Эксперимент

А. Метод

Выход электронов распада $\gamma(Z)$ из мишени с атомным номером Z можно записать в виде:

$$\gamma(Z) = \frac{\Lambda_p(Z)}{\Lambda(Z)} \cdot \Delta\Omega(Z) \cdot \epsilon(Z), \quad (1)$$

где $\Lambda_p(Z)$ - вероятность распада μ^- -мезона; $\Lambda(Z)$ - полная вероятность исчезновения μ^- -мезонов в мезоатомах; $\Delta\Omega(Z)$ - телесный угол, охватывающий детектор электронов; $\epsilon(Z)$ - эффективность регистрации электронов распада.

Отношение ξ вероятностей распада μ^- -мезонов в мезоатомах с Z и Z' равно:

$$\xi = \frac{\Lambda_p(Z)}{\Lambda_p(Z')} \cdot \frac{\gamma(Z)}{\gamma(Z')} \cdot \frac{\Lambda(Z')}{\Lambda(Z)} \cdot \frac{\Delta\Omega(Z')}{\Delta\Omega(Z)} \cdot \frac{\epsilon(Z')}{\epsilon(Z)}. \quad (2)$$

Воспользуемся для измерения величин ξ методом "сэндвичей", описанным в работах^{/1,4/}. Исследуемые вещества возьмем с близкими значениями Z и Z_0 , как, например, железо и цинк. Тогда разница в величинах ϵ за счет отличия в геометрии опыта и в спектрах электронов распада будет незначительной^{/7/}. Следовательно, выражение для ξ в двух исследуемых мезоатомах с Z и Z_0 можно записать следующим образом:

$$\xi = \frac{\Lambda_p(Z)}{\Lambda_p(Z_0)} = \frac{y(Z) \cdot \Lambda(Z)}{y(Z_0) \cdot \Lambda(Z_0)} = \frac{y(Z) \cdot \Lambda(Z')}{y(Z_0) \cdot \Lambda(Z')} \cdot \frac{\Lambda(Z')}{\Lambda(Z)} \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) следует, что если в исследуемых веществах величины Λ известны, то использование для калибровки вещества с Z' дает возможность найти иско-
мые величины ξ . В опытах с железом и цинком для калибровки был выбран алюминий.

Сделаем одинаковыми условия опытов с веществами, где Z отличаются на едини-
цу, как, например, никель и медь. Тогда, как следует из выражения (2), для определения
величин ξ достаточно измерить отношение выходов электронов распада.

Б. Экспериментальная установка

На рис. 1 приведена блок-схема установки. В опытах с железом и цинком отрица-
тельные μ^- -мезоны, останавливающиеся в мишени 6, регистрировались схемой 1+2. Импульсы
со схемы 9 запускали триггер 12, который вырабатывал положительные прямоугольные им-
пульсы стабильной длительности 5 мксек. На время 5 мксек открывалась схема пропуска-
ния ("ворота") 13. Через "ворота" проходили импульсы от электронов (μ^- -распада
и нейтрального излучения, испущенного при захвате μ^- -мезонов ядрами, со схемы 10
совпадений 4+5, а также импульсы от нейтрального излучения со схемы 10 антисовпаде-
ний 4 + 5 - 3, задержанные в 11 на время 0,2 мксек, которые запускали формирующее
устройство 15. Задержка 11 была введена для регистрации нулевого времени между импуль-
сами на экране анализатора 17. Импульсы, предназначенные для запуска конвертора 16,
поступали на его первый вход со схемы 15, а на второй - из формирующего устройства 14,
запускаемого задним фронтом импульса от триггера 12. На выходе конвертора импульсы,
амплитуда которых пропорциональна интервалу времени между двумя импульсами, посту-
пающими на его входы, анализировались при помощи 128-канального амплитудного анали-
затора.

Мишени в этих опытах были собраны в виде "сэндвича" из железа и алюминия, а
также из цинка и алюминия. Каждая компонента состояла из десяти пластин размерами
15x15 см. Толщина пластины была равна для железа 0,8 мм, цинка - 1 мм и 0,7 мм
для алюминия.

В опытах с никелем и медью сцинтилляционный счетчик 3 располагался по "оси"
пучка μ^- -мезонов. Отрицательные μ^- -мезоны, останавливающиеся в мишени 6, реги-
стрировались схемой 9 антисовпадений 1+2-3. Импульсы со схемы 9, задержанные на
0,1 мксек, открывали "ворота" 13 на время 1 мксек. Через "ворота" проходили импульсы
от электронов распада со схемы 10 совпадений 4+5 и регистрировались отдельным пере-
счетным устройством. Исползованные мишени имели размеры: площадь мишени
15x15 см и толщина 5 г/см². Все условия опытов с Ni и Cu были одинаковыми.

Сцинтилляционные счетчики 1 - 5 были изготовлены из пластмассы и имели размеры:
диаметр 10 см, толщина 1 см.

В. Электронная аппаратура

Приведенные на рис. 1 блоки электронной аппаратуры, кроме конвертора, были стандартными. На рис. 2 изображена принципиальная схема конвертора. Импульсы со схемы 15 поступают на вход № 1 конвертора и, пройдя через дискриминатор (L_1^1), запускают триггер (L_2). Обостренные стандартные отрицательные импульсы, снимаемые с анода (L_2), опрокидывают двоичную пересчетную ячейку с катодными каскадами в анодных цепях (L_3, L_4)^{10/}. Импульсы со схемы 14 поступают на вход № 2 конвертора и, пройдя через дискриминатор (L_7^1), запускают триггер (L_8). Положительный сигнал с катодной цепи триггера (L_8) поступает на вход обостряющего каскада (L_9), импульс которого возвращают двоичную пересчетную ячейку в исходное состояние. Таким образом, на выходе этой ячейки появляется прямоугольный сигнал с длительностью, равной интервалу времени между двумя импульсами, поступающими на вход конвертора. Для линейного преобразования интервала времени в амплитуду используется обычный генератор с токостабилизирующим нелинейным элементом. В качестве последнего используется пентод 6Ж8 (L_{12}). В исходном состоянии диоды D_1 и D_2 проводят и поддерживают потенциал обкладок "А" и "В" конденсатора "С" на уровне потенциала "земли"; конденсатор "С" разряжен. В рабочей стадии диод D_1 запирается отрицательным импульсом, пришедшим с бинарной пересчетной ячейки через буферные каскады (L_1^2, L_9, L_{10}^1); конденсатор "С" заряжается через прямое сопротивление диода D_2 постоянным током пентода 6Ж8 (L_{12}) до напряжения V_c , пропорционального интервалу времени между 2-мя импульсами на входах конвертора. Отрицательный импульс длительностью 3 мксек с триггера L_8 запирает лампу L_{13} , в анод которой включен диод D_2 . Когда пересчетная ячейка вернется в исходное состояние, ток пентода L_{12} снова потечет через диод D_1 , потенциал точки "А" станет равным потенциалу "земли", а потенциал точки "В" скачком поднимется на величину V_c . Конденсатор начнет медленно разряжаться с большей постоянной времени в течение 3-х мксек.

В конце этого интервала лампа открывается и своим большим током быстро разряжает конденсатор "С". В результате на выходе катодного повторителя (L_{10}^2) появляются импульсы, амплитуда которых пропорциональна интервалу времени между исследуемыми событиями.

Линейность использованной в опытах аппаратуры проверялась с помощью набора кабелей задержки. Идентичность задержки проверялась при помощи резонансного метода с точностью до 0,5%. Нелинейность аппаратуры не превышала 1%. Стабильность калибровки аппаратуры в течение 15 часов работы была лучше 1%. Для определения "нулевого" канала анализатора сцинтилляционные счетчики 1-5 располагались по "оси" пучка мезонов, при этом каналы антисовпадений отключались.

3. Результаты измерений, их обработка и обсуждение

На рис. 3 и 4 представлено распределение во времени импульсов со схемы 9 совпадений 4 + 5 для мишеней - "сэндвичей" $Fe + Al$ и $Zn + Al$, соответственно. Временное распределение импульсов со схемы 10 антисовпадений 4+5-3 представлено на рис. 5. Измеренное отношение выхода электронов из никеля и меди оказалось равным $0,95 \pm 0,02$.

При обработке результатов, представленных на рис. 3 и 4, использовался интервал времени от 0 до 3,71 мксек, который соответствовал 105 каналам анализатора. Интервал времени от 2,43 до 3,71 мксек был использован для вычисления фона. При вычислении величин

$$S = \frac{\sum n_i t_i}{\sum n_i} \quad (\text{здесь } n_i - \text{ число импульсов в момент времени } t_i) \text{ импульсы суммировались}$$

от трех каналов, т.е. на интервал времени 0,106 мксек. Измеренные значения S получились следующими: для мишени $Fe + Al$ $S_{Fe+Al} = (0,485 \pm 0,008)$ мксек, и для мишени $Zn + Al$ $S_{Zn+Al} = (0,483 \pm 0,008)$ мксек.

Нетрудно показать, что для распределения, являющегося результатом наложения двух экспонент, характеризующихся временами τ_1 и τ_2 , имеет место соотношение:

$$S = n_1 S_1 + n_2 S_2, \quad (4)$$

где величины сумм $S_1 = \frac{\sum n_{1i} t_i}{N_1}$ и $S_2 = \frac{\sum n_{2i} t_i}{N_2}$, вычисленные в интервале времени от 0 до t , соответствуют экспонентам e^{-t/τ_1} и e^{-t/τ_2} , а $n_1 = \frac{N_1}{N}$, $n_2 = \frac{N_2}{N}$ и $N_1 + N_2 = N$.

Для мишеней $Fe + Al$ и $Zn + Al$ величины можно записать в виде:

$$S^{(Fe+Al)} = n_1 S^{(Fe)} + n_2 S^{(Al)} \quad (5)$$

$$S^{(Zn+Al)} = n_1' S^{(Zn)} + n_2' S^{(Al)}.$$

В использованном интервале времени от 0 до 2,43 мксек на основании таблиц коэффициентов, приведенных в работе ^{/11/}, и экспериментальных данных для τ , приведенных в работах ^{/12,13/}, были получены величины S . Их значения оказались следующими: $S^{(Fe)} = (0,201 \pm 0,004)$ мксек, $S^{(Zn)} = (0,161 \pm 0,004)$ мксек и $S^{(Al)} = (0,707 \pm 0,002)$ мксек.

Совпадение величин τ для фосфора, измеренных в нашей ранее опубликованной работе ^{/14/}, и работе ^{/12/}, указывает на правильность калировки шкалы времени, использованной при работе с данной аппаратурой.

На основании выражений (3) и (5) отношение вероятностей распада μ^- -мезонов в мезодотомах железа и цинка можно записать в виде:

$$\xi = \frac{\Lambda_p^{(Fe)}}{\Lambda_p^{(Zn)}} = \frac{n_1}{n_1'} \cdot \frac{n_2'}{n_2} \cdot \frac{\Lambda^{(Fe)}}{\Lambda^{(Zn)}} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (6)$$

где k_1 - поправка, учитывающая разницу толщин слоев в г/см² Zn и Fe в "сэндвиче", а k_2 - поправка, учитывающая разницу в угловых распределениях электронов (μ^-e) -распада в Fe и Zn ^{/15/}.

Проводилось рассмотрение поправок, возникающих за счет поглощения в мишени электронов от распада μ^- -мезонов, с учётом того факта, что толщины мишеней $Fe + Al$ $Zn + Al$ немного отличались. Эти поправки оказались меньше 1%. Незначительной оказалась и вероятность регистрации электронов пучка, рассеянных в мишенях.

Полученное значение ξ оказалось равным

$$\xi = \frac{\Lambda_p^{(Fe)}}{\Lambda_p^{(Zn)}} = 0,94 \pm 0,05.$$

В опытах с никелем и медью измеренное значение

$$\xi = \frac{\Lambda_p^{(Ni)}}{\Lambda_p^{(Cu)}} = 0,98 \pm 0,05.$$

Использованные при вычислениях ξ данные для Λ были взяты из работ^{/12,13/}.

При обработке результатов измерений, приведенных на рис. 5, данные в интервале времени от 0,64 до 3,71 мксек, использованном для вычисления фона, были вычтены из данных в интервале от 0 до 0,64 мксек. Затем в обеих гистограммах было произведено суммирование и нормировка на одинаковый фон. Для мишени $Zn + Al$ было получено 150 ± 20 , а для мишени $Fe + Al$ — 117 ± 32 отсчетов телескопа 4+5-3. Эффективность схемы 10 антисовпадений была равна 99,95%.

Результаты относительных измерений ξ показывают, что в пределах статистических ошибок вероятности распада μ^- -мезонов в железе и цинке, а также никеле и меди одинаковы. Этот факт отсутствия аномалии при распаде μ^- -мезонов в мезоатомах ферромагнитной триады железа находится в противоречии с результатами измерений, выполненных в работах^{/1-4/}, но согласуется с результатами абсолютных измерений величины R , приведенных в работе^{/18/}.

Разумно считать, что число отсчетов телескопа 4+5-3 обусловлено, в основном, γ -лучами, испущенными из мишени в результате поглощения μ^- -мезонов ядрами. Толщина алюминиевого фильтра 8, расположенного между счетчиками 4 и 5, была такой же, как и в работах^{/1-4/}. Равенство в пределах ошибок опыта числа γ -лучей, испущенных из мишени $Fe + Al$ и $Zn + Al$, свидетельствует в пользу того, что аппаратный эффект, указанный в работах^{/7,9/}, не является причиной наблюдаемой в работах^{/1-4/} аномалии.

Авторы благодарны В.О. Вяземскому за ценные советы, данные при разработке конвертора.

Л и т е р а т у р а

1. R.A.Lundy, J.C.Sens, R.A.Swanson, V.L.Telegdi and D.D.Yovanovitch, Phys. Lett. 1, 102 (1958).
2. A.Astbury, M.Hussain, M.A.Kemp, N.A.Lipman, H.Muirhead, R.G.P.Voss and A.Kirk. Proc. Phys. Soc. (London) 73, 314 (1959).
3. W.A.Barrett, F.E.Holmstrom and J.W.Keuffel. Phys. Rev. 113, 661 (1959).
4. D.D.Yovanovitch. Phys. Rev. 117, 1580 (1960).
5. H.Uberall. Phys. Rev. 119, 365 (1960).
6. V.Gilinsky and J.Mathews. Phys. Rev. 120, 1450 (1960).
7. R.W.Huff. Annals of Physics, 16, 288 (1961).
8. Л.Б.Егоров, А.Е.Игнатенко, А.В.Купцов, М.Г.Петрашку. ЖЭТФ (в печати) 1962.
9. F.Chilton. Phys. Rev. Lett. 7, 31 (1961).

10. M.Nakamura. Rev. Sci. Instr. 28, 1015 (1959).
11. R.Paierls. Proc. Roy. Soc. 149, 467 (1935).
12. J.L.Lathrop, R.A.Lundy, V.L.Telegdi, R.Winston, D.D.Yovanovich. Phys. Rev. Letters. 7, 107 (1961).
13. J.C.Sens. Phys. Rev. 113 679 (1959).
14. Л.Б.Егоров, Г.В.Журавлев, А.Е.Игнатенко, А.В.Купцов, Ли Сюан-мин, М.Г.Петрашку. ЖЭТФ, 41, 684 (1961).
15. А.Е.Игнатенко. Nucl. Phys. 23, 75 (1961).
16. G.Culligan, D.Harting, N.H.Lipman and G.Tibell. The six-enceprovement, International Conf. on Elementary particles 14-20 September 1961, Vol. 1, p. 143.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 апреля 1962 года.

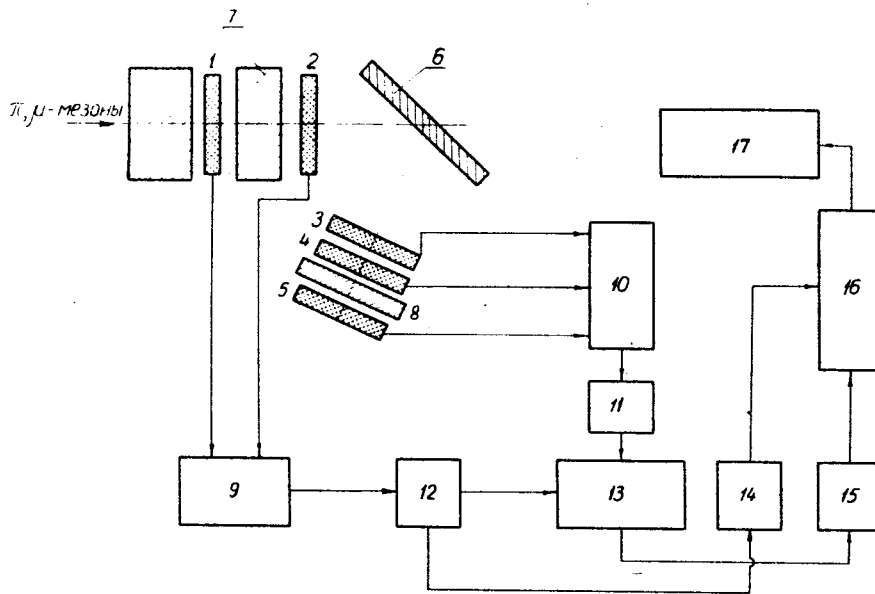


Рис. 1. Блок-схема установки.

1, 2, 3, 4, 5 - сцинтилляционные счетчики; 6 - мишень; 7 - медные фильтры; 8 - алюминиевый фильтр; 9, 10 - блоки совпадений и анти-совпадений; 11 - задержка; 12 - триггер длительности ворот; 13 - схема пропускания ("ворота"), 14-15 формирующие устройства; 16 - конвертор; 17 - амплитудный анализатор.

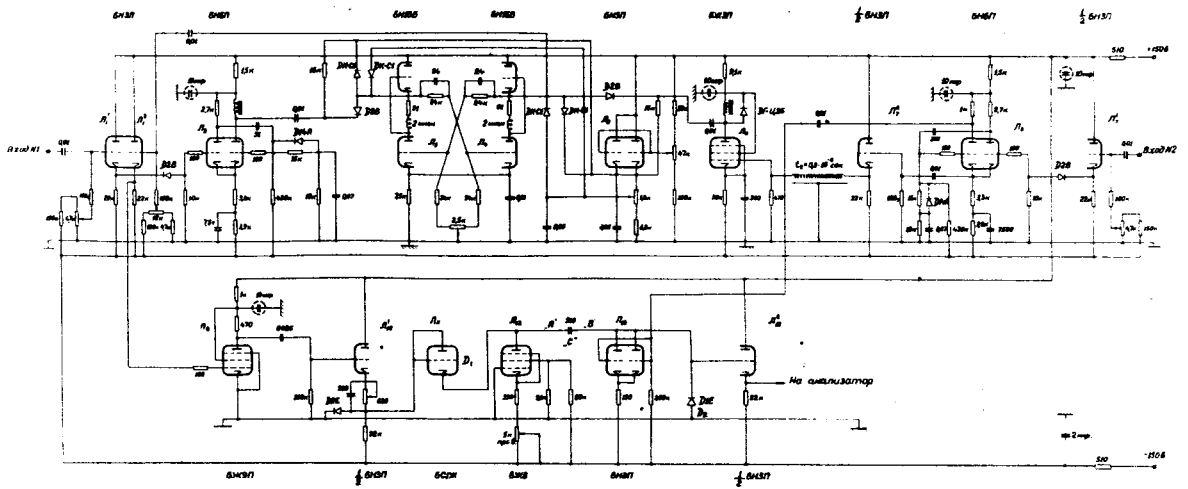


Рис. 2. Принципиальная схема конвертера

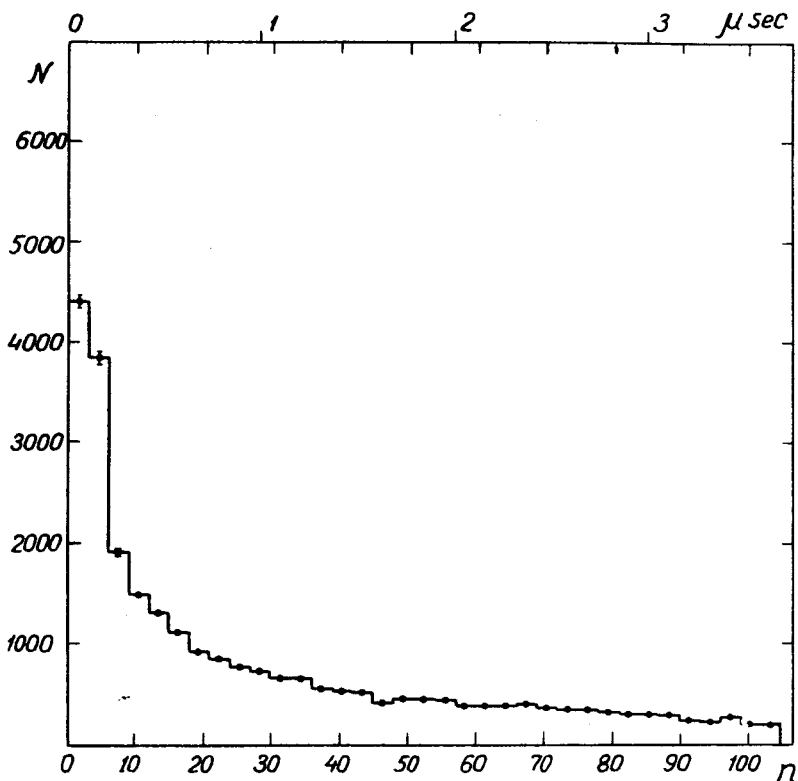


Рис. 3. Распределение во времени электронов от распада μ^- -мезонов в мишени $Fe+Al$; N - сумма отсчетов в трех каналах анализатора; n - номер канала анализатора.

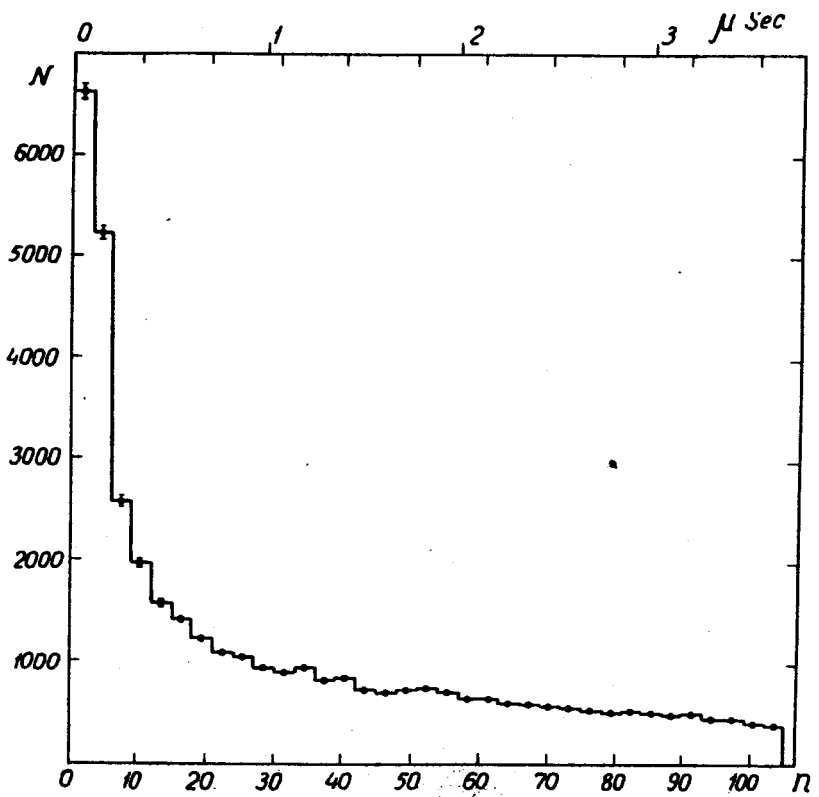


Рис. 4. Распределение во времени электронов от распада μ^- -мезонов в мишени $Zn + Al$; N - сумма отсчетов в трех каналах анализатора; n - номер канала анализатора.

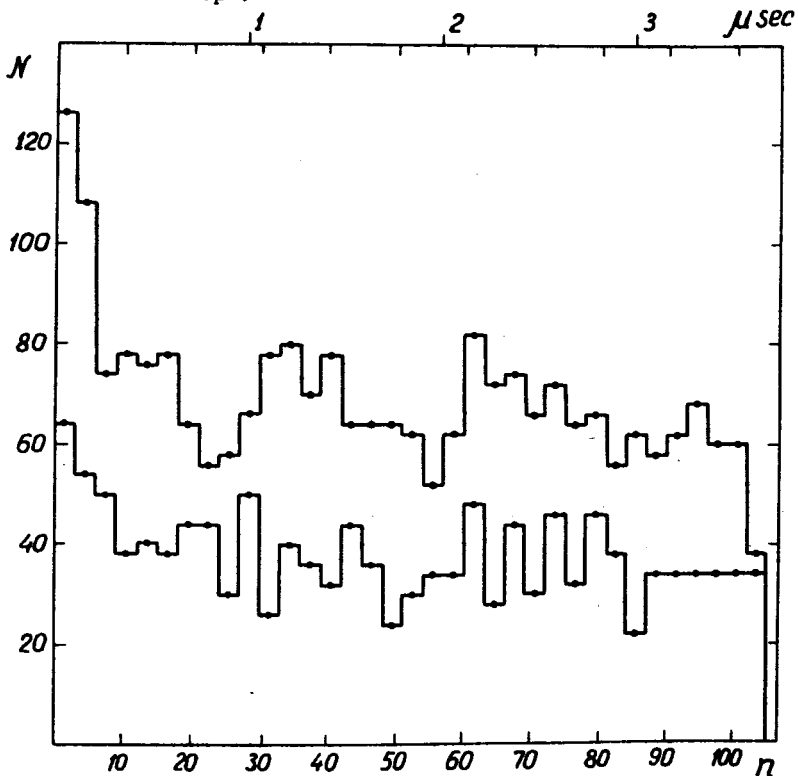


Рис. 5. Распределение во времени отсчетов телескопа 4+5-3 для мишеней $Zn + Al$ (верхняя гистограмма) и $Fe + Al$ (нижняя гистограмма); N - сумма отсчетов в трех каналах анализатора; n - номер канала анализатора.