

Э 344.1н
А-248

В кн.: Симпозиум 23/XI-67
по наст. дог. эл., Дубна,
1968, с. 349-360

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 3549



В.Г. Лапшин, В.И. Петрухин, В.И. Рыкалин,
Д.М. Хазинс, З. Цисек

СПЕКТРОМЕТР ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1967.

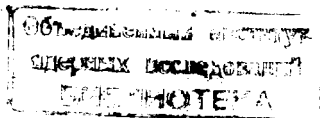
P13 - 3549

5425/1 нр

В.Г. Лапшин, В.И. Петрухин, В.И. Рыкалин,
Д.М. Хазинс, З. Цисек

**СПЕКТРОМЕТР ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА**

Направлено В ПТЭ



Экспериментальная установка

Спектрометр состоит из вакуумного секционированного тракта, имеющего внутренний диаметр 150 мм, двух "базовых" сцинтилляционных счётчиков S_2 и S_3 , дающих сигналы "старт" и "стоп" для время-амплитудного конвертора; 6 сцинтилляционных счётчиков, выделяющих полезные события; системы электронных схем, осуществляющей отбор этих событий для временного анализа; время-амплитудного конвертора; амплитудного анализатора и системы стабилизации.

Расположение тракта и счётчиков в экспериментальном зале показано на рис. 1. Вакуумный тракт представляет собой набор дюралюминиевых труб с внутренним диаметром 150 мм различной длины (от 1 до 2,7 м). Такая конструкция позволяет в течение короткого времени (5-15 мин) изменять длину тракта. Откачка тракта производится двумя насосами типа ВН-461 до давления 0,2 мм рт.ст. за время порядка 10 - 20 мин.

Пучок заряженных частиц от синхротронной Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ анализируется по импульсу отклоняющим магнитом, проходит через коллиматор в защитной стене и попадает на первую группу из трех счётчиков S_1, S_2, S_3 , сцинтилляторы которых имеют размеры 35 x 35 мм. Толщина сцинтиллятора первого "базового" счётчика - 10 мм. Толщины сцинтилляторов S_1 и S_3 выбраны достаточно малыми для уменьшения многократного рассеяния и равны 0,5 мм каждый. На расстоянии 4,5 м от первой группы счётчиков расположены два сцинтилляционных счётчика антисовпадений A_4 и A_5 . Их сцинтилляторы находятся в вакууме и представляют собой диски диаметром 140 мм с

отверстием по центру диаметром 22 мм. Толщина сцинтиллятора счётчика A_4 - 10 мм, A_5 - 20 мм. Размеры отверстий выбраны с тем расчётом, чтобы частицы, проходящие через них, не попадали на стенки тракта на максимальной пролетной базе. Последняя группа состоит из трех счётчиков S_6, S_7, S_8 . Счётчик S_8 выполняет роль второго "базового" счётчика. Его сцинтиллятор выполнен в виде диска диаметром 180 мм, толщиной 45 мм, он просматривается двумя фотоумножителями (см рис. 3а). Счётчики S_6 и S_7 служат для исключения фона случайных совпадений, их сцинтилляторы имеют размеры 200 x 200 x 10 мм каждый. В "базовых" счётчиках S_2 и S_8 используются фотоумножители XP-1020, во всех остальных счётчиках - 58 AVP.

Блок-схема электронной логики и схема включения счётчиков показаны на рис. 2. Три быстрых схемы совпадений, имеющих разрешение $2\tau = 5$ нсек; CC1, CC2, CC3, образуют логическую схему $(S_1 + S_2 - A_4) + (S_2 + S_3 - A_5)$, которая служит для выделения центрального пучка и одновременно является монитором. Сигнал с выхода схемы CC4 в случае прохождения заряженной частицы через счётчики S_6, S_7, S_8 поступает на схему "ворот" (CB) и открывает ее на время 70 нсек. На другой вход схемы CB поступает сигнал со схемы CC3. Сигнал с выхода CB означает прохождение частицей всего телескопа счётчиков таким образом, что расстояние частицы от стенки тракта всегда больше 15 мм. Этот сигнал, проходя через схемы типа "или", открывает линейные схемы пропускания^{/1/} (СП), которые пропускают сигналы от базовых счётчиков S_2 и S_8 на входы время-амплитудного конвертора^{/2/}, преобразующего время пролета частиц в амплитуду выходного сигнала. Длительность ворот линейных схем пропускания составляет 35 нсек. Сигналы с конвертора подаются на амплитудный анализатор "Тензор-4".

Временное разрешение спектрометра

Основными параметрами спектрометра частиц по времени пролета являются временное разрешение и светосила. Часто наибольшие трудности при получении хорошего временного разрешения возникают в связи с необходимостью иметь большую светосилу (большие размеры 2-го базового счётчика). Если в качестве 2-го базового счётчика использовать сцинтилляционный счётчик обычной кон-

струкции, в которой фотоумножитель "просматривает" сцинтиллятор с торца (см. рис. 3 б), то время между появлением сигналов с базовых счётчиков

$$t = r + nx/c,$$

где r - время пролета частиц, x - расстояние точки высвечивания от фотокатода, n - показатель преломления сцинтиллятора, c - скорость света. При размере сцинтиллятора 15 x 15 см разброс величины t из-за попадания частиц в разные точки сцинтиллятора превышает 1 нсек. На опыте с таким счётчиком было получено разрешение 1,25 нсек.

Первоначально для уменьшения этого разброса был использован счётчик, конструкция которого показана на рис.3в. Он состоит из сцинтиллятора, представляющего собой вогнутую цилиндрическую линзу диаметром 160 мм и толщиной 40 мм в центре и 60 мм по краям. Фотокатод фотоумножителя помещается на расстоянии 100-120 мм от сцинтиллятора. Размеры и форма сцинтиллятора выбраны из следующих соображений: максимального светосбора от сцинтилляции, фокусировки света на фотокатод и компенсации краевых эффектов при светосборе. В счетчике такой конструкции временной разброс из-за пространственного распределения частиц не превышает 0,1 нсек. Для преобразования времени в амплитуду был использован конвертор с компенсацией амплитудного разброса ^{/2/}. С помощью этого счетчика было получено временное разрешение 0,75 нсек. Здесь и далее за временное разрешение спектрометра принимается ширина на полувысоте пика от ультрарелятивистских электронов ($\beta/\beta_0 = 330$). На рис.4 приведен спектр по времени пролета пучка частиц, содержащего π , μ , e на базе 13,5 м.

Как видно из рис.4, электронный пик раздвоен. При исследовании причины этого явления выяснилось, что пик раздвоен только в том случае, когда пучок попадает на катод фотоумножителя. Раздвоение электронного пика можно объяснить тем, что электроны пучка, попадая на ФЭУ, дают черенковский свет во входном окне ФЭУ, который приходит на фотокатод раньше, чем свет от сцинтиллятора из-за задержки в высвечивании сцинтиллятора ^{/3/}. Это приводит к тому, что второй электронный пик сдвинут относительно основного электронного пика вправо (в нефизическую область " $\beta > 1$ ") на 1,3 нсек. В связи с невозможностью устранить раздвоение пика достаточно простым путем, мы отказывались от использования счетчика такой конструкции.

В настоящее время в спектрометре в качестве 2-го "базового" счетчика используется счетчик, состоящий из сцинтиллятора в форме диска (диаметр - 180 мм, толщина - 45 мм) и двух фотоумножителей, как показано на рис.3а. Конвертор состоит из двух время-амплитудных преобразователей, работающих по принципу перекрытия. Стартовый сигнал поступает из 1-го "базового" счетчика на оба преобразователя одновременно. Сигналы от двух фотоумножителей 2-го "базового" счетчика поступают на вторые входы преобразователей, как показано на рис.2. Сигналы с выходов преобразователей складываются в схеме суммирования. Как легко показать, амплитуда сигнала с выхода сумматора не зависит от координаты x точки в сцинтилляторе, в которую попадает частица ^{4/}. Временной разброс из-за пространственного распределения частиц по оси y не превышает 0,1 нсек. Отметим, что использование в счетчике двух ФЭУ уменьшает влияние временных флуктуаций сигналов с фотоумножителей на временное разрешение системы. Временное разрешение, которое было получено в такой системе, составляет 0,44 нсек. На рис.5 показан спектр масс частиц в мезонном пучке синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ. Спектр получен в тех же условиях, что и спектр, приведенный на рис.4.

Система стабилизации спектрометра

Система временной стабилизации подробно описана в работе ^{5/}. Здесь мы дадим лишь краткое описание принципа ее работы и схему включения аппаратуры. Принцип работы системы временной стабилизации состоит в следующем. Формируются два реперных интервала времени, длительность которых определяется только длиной соответствующих кабелей. Каждый из двух интервалов задается одним коротким импульсом с генератора, который подается на импульсные источники света ^{6/} в 1-ый и 2-ой базовые счетчики с различной задержкой. Разница в задержках определяет длительность реперного интервала времени между световыми импульсами. Оба временных интервала преобразуются в конверторе в амплитуду. Длительности временных интервалов выбраны такими, чтобы они создавали на анализаторе два реперных пика, центры которых находятся в первом и последнем, 512-ом канале. В случае ухода центра тяжести одного из пиков от заданного положения в результате изменения коэффициента

усиления усилителя, смещения напряжения на фотоумножителях и т.д. в блоках автоматического регулирования коэффициента усиления АРУ и порога срабатывания АРП анализатора вырабатывается сигнал рассогласования, который изменяет усиление или порог амплитудного анализатора таким образом, чтобы реперные пики возвращались на свое место.

Генератор импульсов для импульсных источников света синхронизируется с работой ускорителя так, чтобы реперные интервалы времени подавались в систему в период между импульсами интенсивности ускорителя. Таким образом, стабилизация спектрометра осуществляется непрерывно и одновременно с набором статистики в физическом эксперименте. Схема включения аппаратуры для временной стабилизации спектрометра показана на рис. 2. Она состоит из генератора коротких импульсов с двумя выходами, блоков АРП и АРУ, импульсных источников света, двух разветвителей и шести усилителей. Импульсы с обоих выходов генератора разнесены между собой на 3 мсек. Первый выход задает малый интервал времени (соответствует 1-му каналу); второй - большой интервал времени (соответствует 512-му каналу). Кроме того, часть импульсов с каждого выхода ответвляется для запуска линейных схем пропускания и для блоков АРУ и АРП.

Юстировка вакуумного тракта и проверка антисовпадений

Юстировка вакуумного тракта производилась по результатам изучения топографии пучка на выходе тракта. Для этого на конце тракта на кронштейне укреплялась дистанционно управляемая тележка, на которой помещался сцинтилляционный счётчик с "маленьким" сцинтиллятором (10 x 10 x 1,5 мм). Счётчик перемещался как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. В схему электронной логики "маленький" счётчик включался как второй "базовый". Процедура определения топографии пучка состояла в измерении скорости счёта на выходе схемы ворот в зависимости от положения "маленького" счётчика. Точность юстировки, которая достигается таким методом, составляет 2 - 3 мм. Топография пучка изучалась на различных базах, в том числе и на минимальной, непосредственно за счётчиками антисовпадений. Оказалось, что

даже в том случае, когда все частицы пучка, попадающие на "маленький" счётчик, проходят через сцинтилляторы счётчиков антисовпадений, на выходе схемы ворот наблюдается скорость счёта, составляющая 1-2% от скорости счёта при выключенных антисовпадениях. Это резко отличается от полученного нами на тех же счётчиках и схемах значения неэффективности антисовпадений ($\approx 10^{-4}$) при измерениях без вакуумного тракта. Для исследования причин неэффективности антисовпадений на вакуумном тракте был проведен временной анализ частиц, регистрируемых схемой ворот при включенных антисовпадениях. Временной анализ производился при различных положениях "маленького" счётчика за сцинтиллятором счётчика антисовпадений. Для иллюстрации на рис. 6 приведен результат такого анализа при одном положении "маленького" счётчика. Здесь кривая 1 получена при выключенных антисовпадениях, 2 - при включенных. Как видно из рис. 6, неэффективность антисовпадений связана в основном с регистрацией электронов (1,5%), в то время как число зарегистрированных π^- и μ^- - мезонов не превышает фона случайных совпадений. Этот вывод справедлив для всех точек сцинтиллятора антисовпадений. Таким образом, было установлено, что неэффективность антисовпадений к отключению π^- и μ^- - мезонов не превышает $2 \cdot 10^{-4}$.

В заключение считаем своим приятным долгом поблагодарить А.П.Кустова, В.В.Моисееву и Н.А.Чистова за помощь при работе с анализатором.

Л и т е р а т у р а

1. И.Ф.Колпаков. Препринт 2773, Дубна, 1968.
2. В.Г.Лапшин, В.И.Рыкалин, З.Шисек, Препринт 13-2987, Дубна, 1966.
3. Y. Koechlin, A. Rarebrunt, M. Furst; *Compt Rend*, 256, 1096 (1963).
4. C. Ward, A. Berick, E. Tagliaferri, C. York; *Nucl. Instr and Meth*, 30, 61 (1964).
5. В.Г.Лапшин, М.Н.Омельяненко, А.Н.Синаев, В. Г.Хромов, З.Шисек. Препринт Р13-3343, Дубна, 1967.
6. В.И.Рыкалин. Т.Г.Кмита, И.В.Рыжиков. Препринт ОИЯИ 2466, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 октября 1967 года.

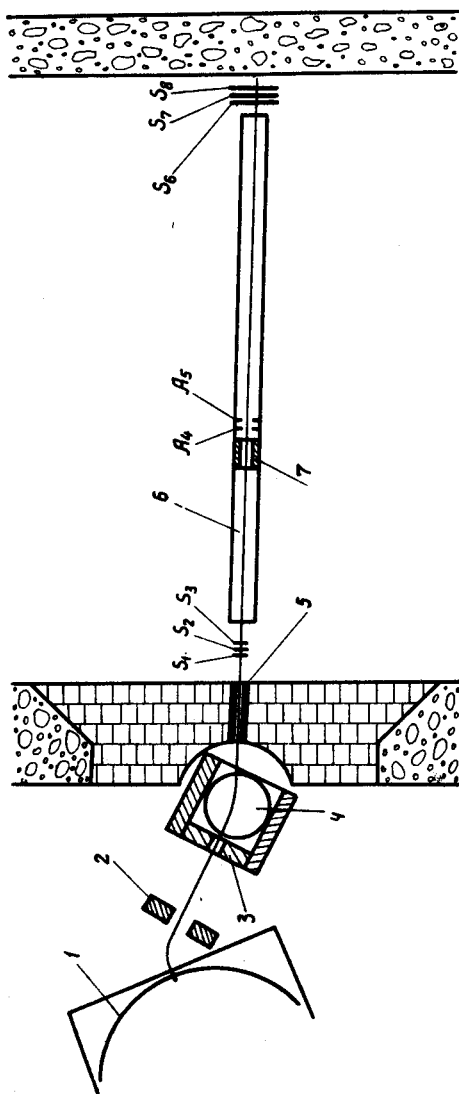


Рис. 1. Расположение счётчиков и вакуумного тракта спектрометра в экспериментальном зале синхротрона ЛЯП ОИЯИ. 1 - камера синхротрона; 2,3,5 и 7 - коллиматоры; 4 - отклоняющий магнит; 6 - вакуумный тракт; $S_1 - S_8, A_4$ и A_5 - синглияционные счётчики.

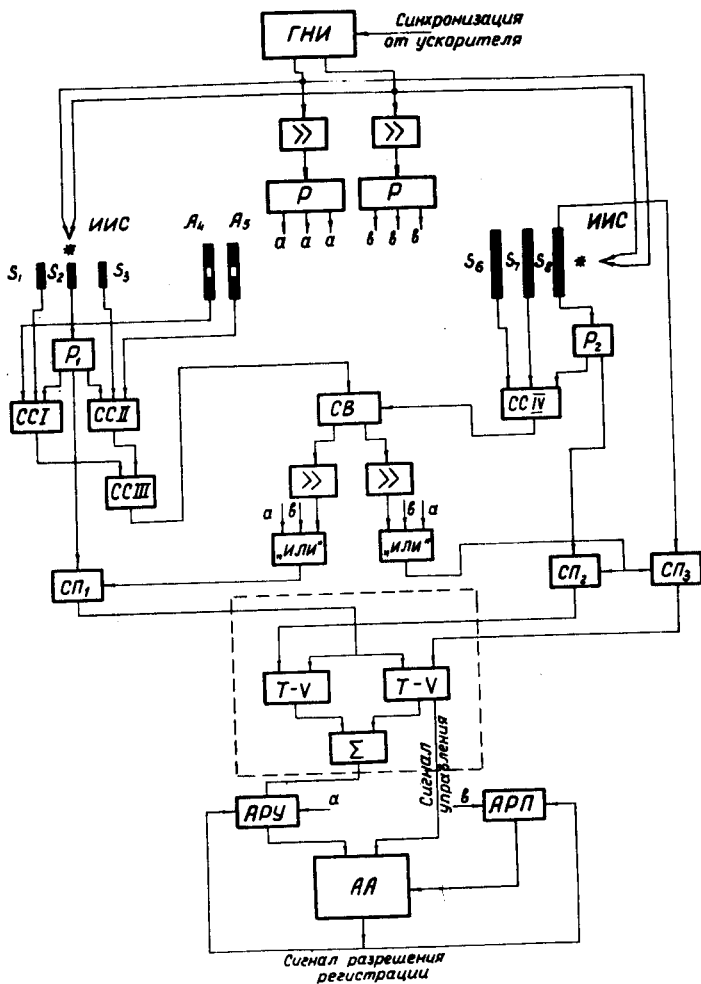


Рис. 2. Блок-схема электронной логики. "ГНИ" - двухканальный генератор наносекундных импульсов; "С" - схема совпадений; "Р" - разветвитель; "ИИС" - импульсные источники света из фосфида галлия; "СВ" - схема "ворот"; ">>" - усилитель; "ИЛИ" - смеситель; "СП" - линейная схема пропускания; "Т - V" - время-амплитудный преобразователь; "Σ" - сумматор; АРУ - блок автоматической регулировки усиления; АРП - блок автоматической регулировки порога анализатора; "АА" - многоканальный амплитудный анализатор.

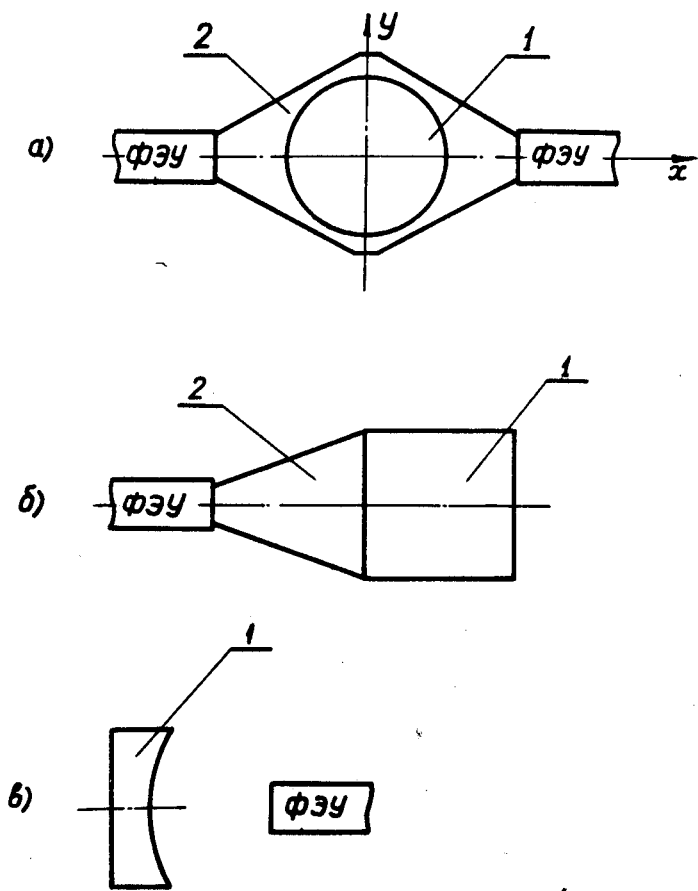


Рис. 3. Три варианта конструкции второго "базового" счётчика. 1 - сцинтиллятор; 2 - световод из плексигласа.

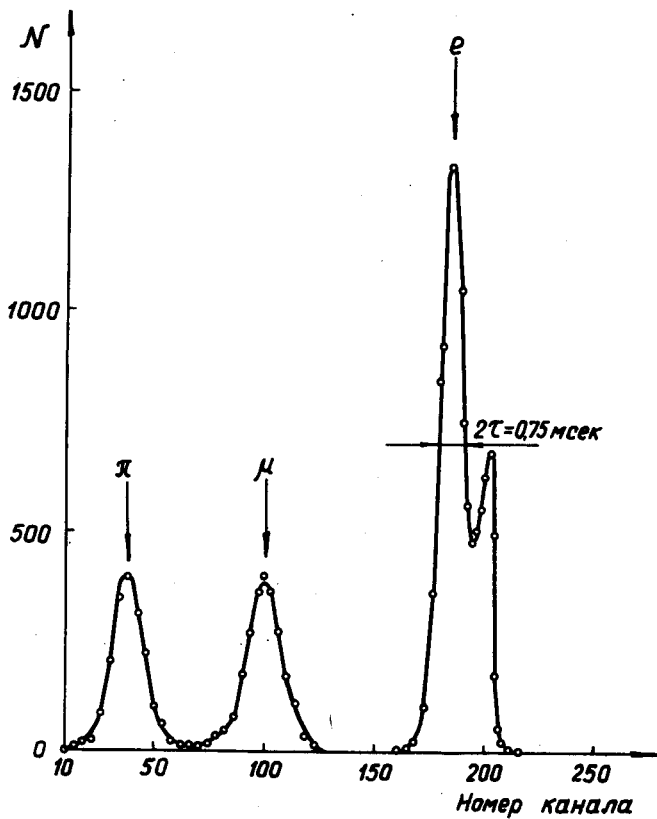


Рис. 4. Спектр масс частиц в мезонном луче синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ с импульсом $P = 175 \text{ Мэв/с}$. Пролетная база 13,5 м.

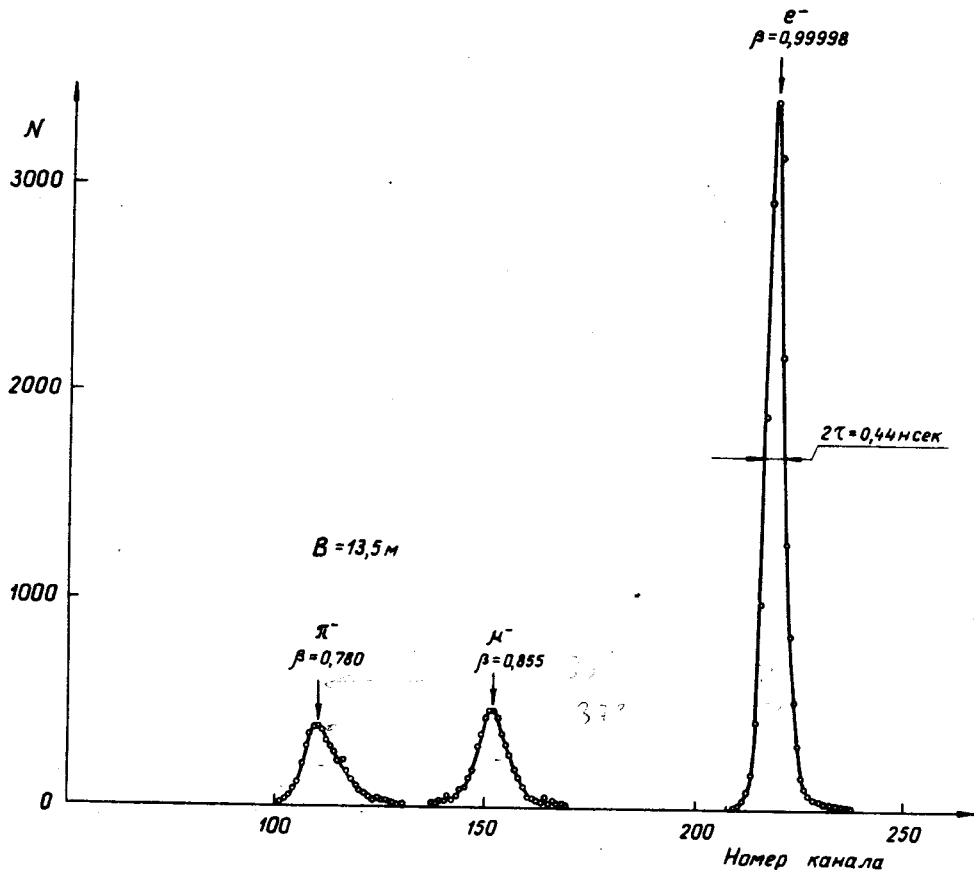


Рис. 5. Спектр масс частиц в мезонном пучке синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ с импульсом 175 Мэв/с. Пролетная база 13,5 м.

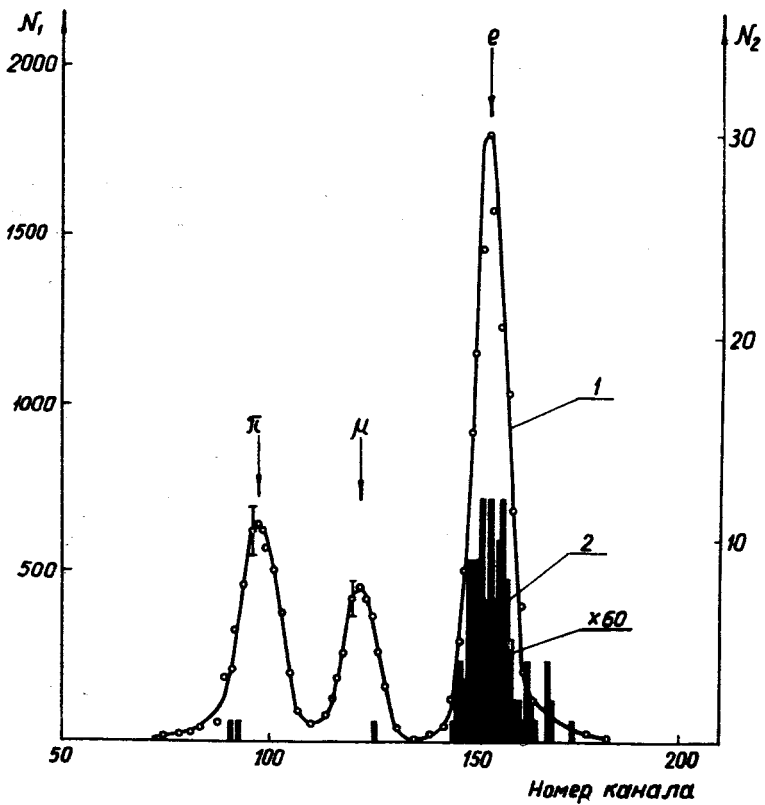


Рис. 6. К вопросу об эффективности антисовпадений. Спектр 1 получен при выключенных антисовпадениях; спектр 2 (гистограмма) - при включенных. Оба спектра получены за одинаковое время.