

8315

К-903

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13-94-233

На правах рукописи

УДК 539.1.074.22

КУЛИНИЧ
Петр Алексеевич

МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ
В ПЛОСКОЙ ЖИДКОСТНОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ
КАМЕРЕ ПО ФОРМЕ СИГНАЛА.
ЭЛЕКТРОНИКА ОТБОРА И ПРИЕМА ДАННЫХ

Специальность: 01.04.01 — техника
физического эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1994

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор
доктор физико-математических наук, профессор

А.П. Онучин
А.А. Тяпкин

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт физики высоких энергий (г. Серпухов)

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 199_ года в
_____ часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.03 при Ла-
боратории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследова-
ний, г. Дубна Московской области. С диссертацией можно ознакомиться в
библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1994 г.

Ученый секретарь Специализированного совета
доктор физико-математических наук, профессор

Ю.А. Батусов

1 Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Развитие физики элементарных частиц, а также ядерной физики во многом определяется существующими экспериментальными методами регистрации и возможностями быстрого приема информации с детекторов. Сейчас широкое распространение получают детекторы на жидких инертных газах, благодаря их хорошей радиационной стойкости и хорошим энергетическому и пространственному разрешению. Для решения задачи идентификации частиц в одном зазоре жидкостной ионизационной камеры (например в первом слое калориметра) было проведено исследование, результаты которого составляют основу диссертации.

Разработанные электронные блоки и программное обеспечение для них способствуют повышению эффективности приема информации с физических установок и, в частности, дают возможность использовать стандартные магнитные ленты с компьютерами типа IBM PC.

Цель работы. а) Разработка и экспериментальная проверка нового метода dE/dx разделения частиц по массе путем анализа формы сигнала с одного зазора жидкостной однородной ионизационной камеры (ЖОИК). б) Создание электронной аппаратуры быстрого двумерного отбора событий, последующего считывания информации с аппаратуры в стандарте КАМАК и записи ее на магнитную ленту.

Научная новизна. Предложен новый метод разделения частиц в одном зазоре ЖОИК путем анализа формы сигнала. Этот метод позволяет получить несколько значений величины ионизационных потерь в одном слое.

Предлагается метод анализа нескольких значений $dE/dx(i)_{mes}$ дающий лучшие результаты по сравнению с известным методом усеченного среднего.

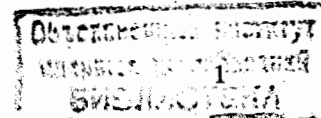
Экспериментально изучен новый метод разделения заряженных частиц в диапазоне $(0.5 \div 0.7) \text{ ГэВ/с}$.

Предложен и реализован метод нормировки значений $dE/dx(i)_{mes}$ с помощью кумулятивных функций этих распределений.

Разработан программируемый блок двумерного анализа (ПБДА) на основе быстродействующего АЦП. Он дает возможность быстрого ($\approx 100 \text{ нс}$) отбора полезных событий при анализе 2-х параметров (Q или время).

Разработан, один из первых в стране, интерфейс IBM PC к контроллеру КАМАК работающий как по каналу прямого доступа к памяти (ПДП), так и по программному каналу.

Практическая ценность. Предложен, промоделирован и экспериментально проверен метод разделения частиц по массе (при известном импульсе) в ЖОИК путем анализа формы сигнала. Он дает возможность использовать один (толщиной несколько сантиметров) слой ионизационной камеры



(в калориметре) на жидких средах для разделения частиц. Задача изучалась в плане использования на установке КЕДР (г. Новосибирск).

Разработанный ПБДА дает возможность быстрого (≈ 100 нс) отбора полезных событий при одновременном анализе 2-х параметров. Это могут быть заряд, амплитуда или время, что позволяет его использовать во многих задачах. Разработанное программное обеспечение дает возможность быстрой и наглядной процедуры создания нужной "маски" для отбора событий на двумерной гистограмме. Помимо описанных примеров применения блок использовался в других группах ОИЯИ.

Разработанный интерфейс IBM PC к контроллеру КАМАК позволяет работать по каналу ПДП в режиме прерываний, что существенно повышает скорость приема и обработки данных. Блоки использовались в разных группах ОИЯИ.

Разработан контроллер магнитофона типа ЕС 5012, который может быть подключен к ЭВМ типа "СМ-4", "Электроника-60", IBM PC. Контроллер выполнен на одной плате. Он использовался в разных группах ОИЯИ.

Разработан один из широко распространенных интерфейсов накопителя на магнитной ленте (НМЛ) СМ 5309(06,08) для IBM PC. Интерфейс выполнен на одной плате конструктива ПЭВМ. Заложена возможность полного автономного (без магнитофона) самоконтроля с диагностикой неисправного узла. Интерфейсы используются в ОИЯИ и различных институтах.

Разработано программное обеспечение на IBM PC для всех упомянутых блоков (имеются программные средства для работы по прерыванию), а также тестовые программы; для магнитофонов написаны программы архивации файлов с дисков.

Наиболее существенные результаты, представленные автором:

1. Предложен новый метод разделения частиц по массе в ЖОИК путем анализа формы сигнала с одного зазора для многократного измерения dE/dx .
2. Написана программа моделирующая распределение ионизации в зазоре камеры и последующий процесс съема сигнала и его обработки для многократного измерения dE/dx с учетом шумов зарядочувствительного предусилителя.
3. Изучено влияния краевых эффектов на форму тока в камере.
4. Предложен новый алгоритм обработки полученных нескольких значений $dE/dx(i)_{mes}$ для улучшения идентификации частиц.
5. Предложен метод нормировки значений $dE/dx(i)_{mes}$ в разных квази-слоях, необходимой при небольшом времени жизни свободных электронов.

6. Проведено моделирование экспериментальной установки для проверки метода анализа формы сигнала.
7. Создана программа обработки экспериментальных данных и проведен их анализ.
8. Разработаны и изготовлены электронные блоки: для быстрого отбора событий по результатам анализа двумерного спектра, интерфейс IBM PC для контроллера КАМАК, два интерфейса магнитофонов, а также программное обеспечение к ним.

Апробация работы и публикации. Диссертация написана на основе научных работ, выполненных с участием автора в ЛЯП ОИЯИ, в ИФВЭ (Протвино), в Милане (Италия) и ЦЕРНе за период с 1987 по 1994гг. Основные результаты диссертации докладывались на 6-ом совещании по новым детекторам в Пизе (Италия), семинарах Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, а также опубликованы в виде 2 сообщений ОИЯИ [1,2], 2 препринтов ОИЯИ [6,7], 3 журнальных статей [3,4,5].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и содержит 72 страницы текста, включая 4 таблицы, 38 рисунков и список цитируемой литературы из 40 наименований.

2 Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели работы и описывается структура диссертации.

В первой главе приведено общее описание предложенного метода анализа формы сигнала с одного зазора камеры для получения нескольких значений dE/dx , и предложен метод гибкого отбора для улучшения разделения частиц по массе. Приводятся результаты моделирования сбора и обработки сигнала с учетом шума предусилителя.

Обычно жидкостные детекторы состоят из плоско-параллельных ионизационных камер, что позволяет использовать амплитудную информацию с последовательных слоев для dE/dx анализа. Такая дополнительная возможность разделения частиц по массе (при известном импульсе) позволяет существенно улучшить параметры установок. Но в случае широких зазоров между высоковольтным и сигнальными электродами полная толщина вещества становится довольно большой, что проявляется в повышенном влиянии ядерных взаимодействий.

Обычно быстрая электронная компонента сигнала с ионизационной камеры интегрируется малощумящим зарядочувствительным предусилителем, а затем сигнал с его выхода подается на аналоговый усилитель.

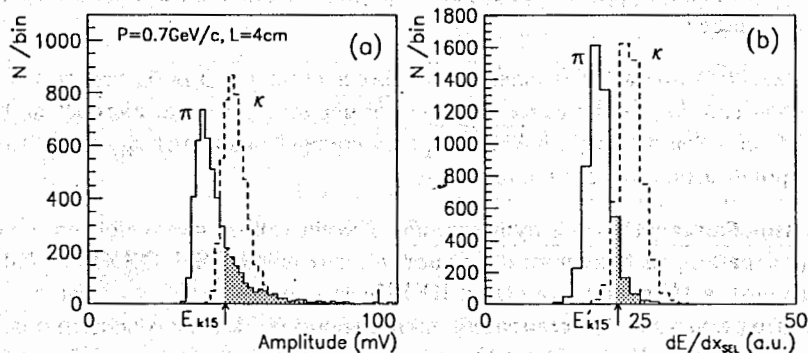


Рис. 1: а) Вычисленные амплитудные спектры на выходе предусилителя для π - и k -мезонов ($P=0.8$ ГэВ/с) в 4 см зазоре жидкокриптоновой камеры. б) dE/dx_{sen} спектры средних значений ионизации после исключения участков трека с энергичными δ -электронами.

формирователь. Амплитуда выходного сигнала с интегрирующего предусилителя (ИП) пропорциональна полному собранному заряду свободных электронов (возникших при ионизации и не рекомбинировавших позднее). Но она лишь приблизительно пропорциональна полному заряду свободных электронов, возникших в зазоре камеры.

Проблема идентификации частиц по массе, при использовании dE/dx информации, связана с заметным вкладом δ -электронов в ионизационные потери частиц. Дополнительная ионизация вызванная энергичными δ - дает заметный вклад в сигнал камеры, характеризующийся проявлением заметной неоднородности в плотности ионизации вдоль трека. Наличие длинного правого хвоста (как в распределении Ландау) в спектре ионизационных потерь (Рис. 1а) является следствием редкого появления энергичных δ . Для получения несмещенной оценки наиболее вероятных ионизационных потерь непосредственно самой частицей, необходимо как-то исключить вклад тех слоев внутри зазора камеры, которые имеют значительную дополнительную ионизацию от δ . Среднее значение dE/dx_{sen} в оставшихся частях зазора будет иметь более узкий и симметричный спектр (Рис. 1б) и, следовательно, разделение частиц с близкими по величине ионизационными потерями упростится.

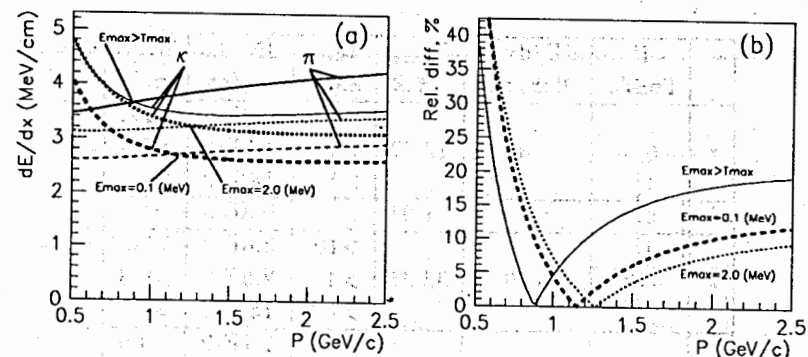


Рис. 2: а) Полные ($E_{max} \geq T_{max}$) и ограниченные ($E_{max} = 0.1, 2.0$ МэВ) энергетические потери пионов и каонов в жидком криптоне. б) Относительная разность ограниченных энергетических потерь для пионов и каонов RDE .

Для количественной оценки разницы в энергетических потерях двух типов частиц, при фиксированном импульсе можно использовать относительную разность этих величин: $RDE = ABS(E_1 - E_2) / MIN(E_1, E_2)$. На Рис. 2а показаны полные и ограниченные энергетические потери, которые не учитывают вклад δ -электронов с энергией выше некоторого порога E_{max} . Соответствующие графики для RDE_{tot} и относительной разности ограниченных потерь RDE_{rsi} для двух значений пороговой энергии δ -электронов ($E_{max} = 0.1, 2.0$ MeV) показаны на Рис. 2б.

Исключение вклада δ -электронов с энергией больше сотен КэВ позволяет улучшить разделение частиц при низких импульсах (левее минимума RDE_{rsi}), но при более высоких значениях импульса разделение становится хуже. При низких значениях E_{max} график RDE_{rsi} приближается к RDE_{tot} , что позволяет улучшить селективное разделение частиц при больших импульсах, но для этого надо иметь аппаратные возможности для выделения вклада низкоэнергичных δ -электронов.

Чтобы нагляднее описать предлагаемый метод, рассмотрим следующие примеры иллюстрации работы камеры и ИП (в случае бесконечного времени жизни свободных электронов τ_e).

При локальной ионизации (как в случае низкоэнергичного γ -кванта) (Рис. 3а,б), выходной ток с камеры и сигнал с выхода ИП показаны на

Таблица 1: Энергетические потери π - и k - мезонов, а также значения энергии, плотности и пробега возникающих δe^- .

	P ГэВ/с	dE/dx_{tot} МэВ/см	T_{max} МэВ	$T_{\delta e^-}$ МэВ	dN/dx 1/см	R_p мм
π	0.5	3.44	12.77	>10	6.8E-4	>22.
				>4	1.5E-2	>8.3
				>1	13.E-2	>1.7
k	0.5	4.85	1.04	>1	9.3E-3	>1.7
π	0.8	3.59	32.21	>10	5.6E-3	>22.
				>4	2.6E-2	>8.3
				>1	15.E-2	>1.7
k	0.8	3.76	2.67	>2	1.1E-2	>3.9
				>1	8.E-2	>1.7

Рис. 3с,d.

При равномерном распределении ионизации в зазоре камеры (Рис. 4а,b) соответствующие сигналы имеют вид как на Рис. 4с,d.

При суперпозиции равномерного распределения ионизации и, например, двух локальных кластеров (Рис. 5а,b) соответствующие зависимости тока и выходного сигнала ИП показаны на Рис. 5с,d. Основной особенностью этого случая является наличие "ступенек" в графике тока камеры.

Эта иллюстрация позволяет найти очевидный метод распознавания случаев с большой локальной ионизацией на фоне равномерной. Для этого достаточно дважды "продифференцировать" выходной сигнал с ИП, в результате чего можно получить приблизительную картину распределения ионизации dE/dx в зазоре (с учетом влияния шумов ИП).

В Таблице 1 приведены значения вычисленных средних энергетических потерь, максимальная энергия и плотность δ -электронов (dN/dx) а также их практический диапазон (R_p) в жидком криптоне для двух типов налетающих частиц.

Была написана программа которая моделирует ионизационные потери соответствующие ограниченному энергетическим потерям заряженных частиц (постоянная часть) и возникающих энергичных δ -электронов (переменная часть). При вычислении выходного сигнала ИП использовался специально подобранный программный "генератор электронного шума".

Для его создания был использован следующий подход. Шумовые свой-

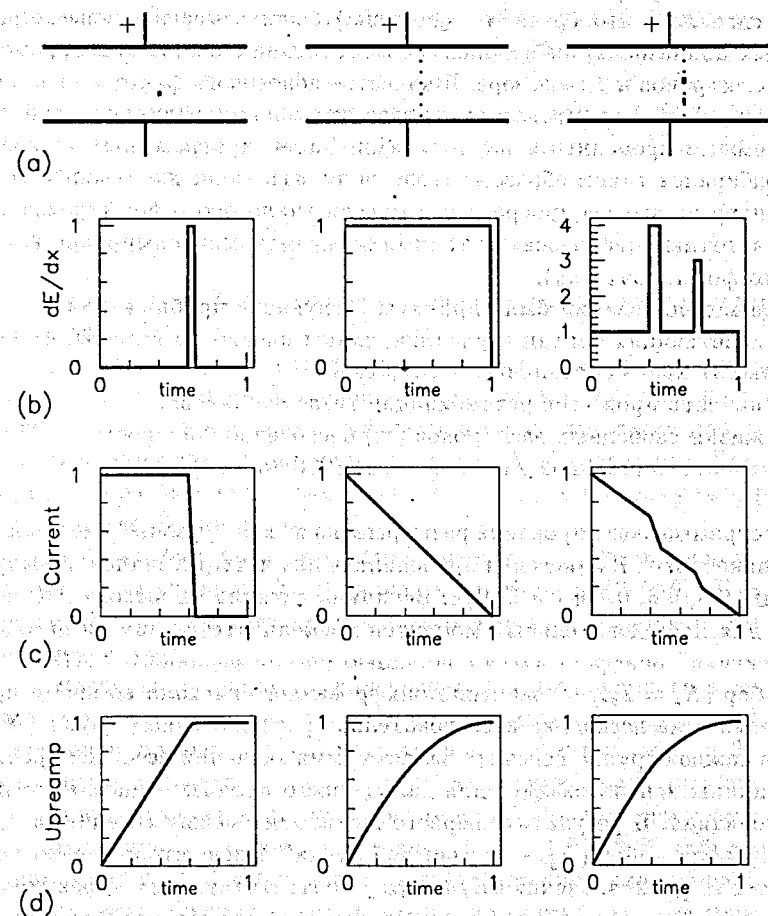


Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Рис. 3: Формы токового сигнала (с) на входе интегрирующего предусилителя и выходного сигнала с него (d) в случае локальной ионизации в зазоре плоской ионизационной камеры (а, b).

Рис. 4: Такие же сигналы (с, d) в случае равномерного распределения ионизации в зазоре (а, b).

Рис. 5: Такие же сигналы (с, d) в случае суперпозиции равномерного распределения и двух локальных кластеров ионизации (а, b).

ства реального предусилителя (отношение ширины ADC спектра калибровочного сигнала к его среднему значению) были измерены в нескольких частотных диапазонах, выбранных в соответствии с ожидаемым временем дрейфа электронов в 2 см зазоре. В качестве полосового фильтра использовался аналоговый формирователь с квази-гауссовой характеристикой с переключаемыми временными параметрами. Затем программный генератор шума подбирался таким образом, чтобы получить такие же отношения шума к сигналу на выходе программной модели аналогового формирователя в тех же частотных диапазонах (с такими же временами формирования как и у реального формирователя).

При моделировании были приняты следующие приближения:

- треки налетающих частиц перпендикулярны плоскости камеры, и проходят далеко от краев сигнальных электродов;
- интенсивность процессов рекомбинации везде одинакова;
- время жизни свободных электронов (τ_e) бесконечно большое;
- длительность переходной характеристики ИП мала.

Программа моделирования разыгрывала π - и k - "мезоны" с одинаковой "интенсивностью". Вычисления проводились для четырех значений импульса частиц: 0.5, 0.6, 0.7 и 0.8 ГэВ/с. Величина сигнала на выходе ИП вычислялась для последовательных моментов времени отстоящих на $dt=20$ нс. Затем "сигнал" оцифровывался с помощью модели реального $FADC$.

Набор ($N_s = T_{dr}/dt$) значений оцифрованного сигнала во время дрейфа разделялся на несколько последовательно расположенных групп ($N_{gr} = 5 \div 10$), в каждой группе подсчитывалась сумма значений всех "измерений". Эти величины использовались для дальнейшего анализа - цифрового дифференцирования. В результате первого вычитания между соседними группами получался набор ($N_{gr} - 1$) значений "тока". После второго вычитания получалось ($N_{gr} - 2$) значений $dE/dx(i)_{mes}$, соответствующих эффективному количеству квази-слоев $N_{gg} = (N_{gr} - 2)$ внутри одного зазора. Эти значения $dE/dx(i)_{mes}$ для одного события различны между собой как из-за влияния δ -электронов, так и за счет влияния шумов предусилителя.

В качестве характеристики разделения спектров использовалось значение $POO\%$, равное процентному отношению числа "пионов" (левый спектр) со значением величины пропорциональной усредненным ионизационным потерям выше некоторого порога E_{k15} , к полному числу событий в этом спектре. Значение порога E_{k15} выбиралось так чтобы левее него лежало 15.83% событий "каонного" спектра (Рис. 1а,б).

Для извлечения информации о массе частицы с известным импульсом, при наличии нескольких измерений $dE/dx(i)_{mes}$, обычно используют метод "усеченного среднего" (УС). Качество разделения частиц при использова-

нии этого метода зависит от количества измерений N_{gg} , и при малом N_{gg} ухудшается. Эта зависимость была проанализирована в нашем случае путем усреднения 2 и 3 наименьших значений $dE/dx(i)_{mes}$.

Был испытан другой метод гибкого отбора (ГО), когда в усреднении использовалось различное число наименьших значений $dE/dx(i)_{mes}$. Следующая формула показывает как находилось это число N_{mn} для вычисления среднего dE/dx_{sel} :

$$N_{mn} = N_{gg} - IFIX\{k_s \cdot (N_{gg} - 1) \cdot (dE/dx_{max} - dE/dx_{min})/dE/dx_{min}\}$$

где dE/dx_{max} и dE/dx_{min} соответственно максимальное и минимальное значения $dE/dx(i)_{mes}$ (при этом $N_{mn} \geq 1$).

Десять значений коэффициента k_s , использовались каждый раз при анализе. Оптимальное значение коэффициента k_s определялось путем анализа результатов при всех 4 рассматриваемых импульсах для каждого рассматриваемого случая разбиения на число N_{gr} квази-слоев. Для различных вариантов разбиения на квази-слои оптимальные значения коэффициента k_s различаются между собой.

На Рис. 6а,б показаны распределения N_{mn} для пионов и каонов при оптимальном значении k_s . В диапазоне импульсов (0.5-0.8)ГэВ/с этот метод гибкого отбора дает лучшее разделение π - и k - мезонов чем метод усеченного среднего.

Расчеты проводились, в основном, для двух вариантов геометрии ионизационной плоской камеры на жидком криптоне: первый - с 2 см зазором и временем дрейфа $T_{dr}=6.6$ мкс; второй - с 4 см зазором и $T_{dr}=13.2$ мкс. Был введен коэффициент k_w равный отношению числа электронов возникших при ионизации к числу не рекомбинировавших электронов. Вычисления проводились для двух его значений: $k_w=1.25$ (80% собирание заряда) и для $k_w=3.0$ (33% собирание заряда). Последний случай рассматривался как соответствующий использованию неочищенного криптона. Большинство приведенных результатов получены при использовании модели реального 10-битного $FADC$ с интегральной и дифференциальной нелинейностью $\pm 1/4$ МР (младшего разряда).

При использовании метода ГО с переменным числом N_{mn} качество разделения спектров частиц иллюстрируется на Рис. 7а. Результаты расчета для случая использования неочищенного криптона ($k_w=3$) показаны на Рис. 7б. Видно, что возможность разделения частиц сильно ухудшается.

Улучшение разделения частиц может быть получено либо при снижении уровня шумов, либо при уменьшении влияния рекомбинации (путем очистки), либо при увеличении толщины ионизационной камеры - то есть при увеличении числа квази-слоев N_{mn} без изменения их толщины.

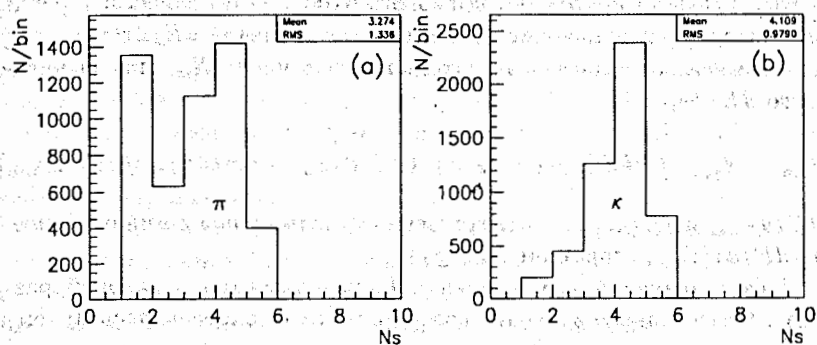


Рис. 6: Спектр числа наименьших значений $dE/dx(i)_{mes}$, использованных при вычислении среднего значения $-dE/dx_{sel}$ методом гибкого отбора при оптимальном значении коэффициента k_s , а) – для пионов; б) – для каонов. $P=0.7$ ГэВ/с, $L=4$ см, $N_{gr}=7$; $k_w=1.2$.

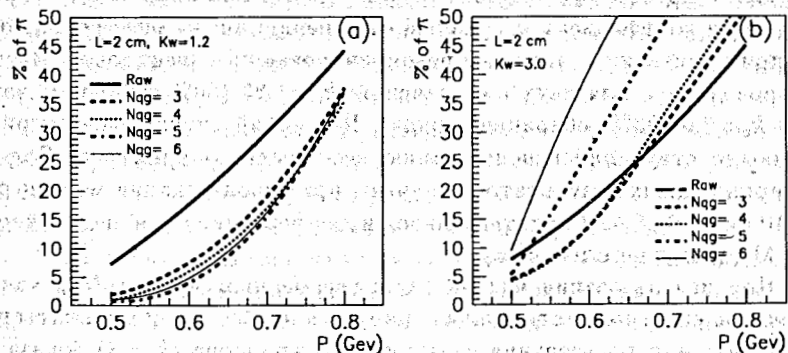


Рис. 7: Расчетное разделение ($\pi-k$) спектров (POO%) для оптимальных значений коэффициента k_s , при использовании метода гибкого отбора. $L=2$ см, $T_{dr}=6.6$ мкс, 10-битный FADC с нелинейностью $\pm 1/4$ МР, а) $k_w=1.2$; б) $k_w=3.0$ (80% и 30% сбор заряда).

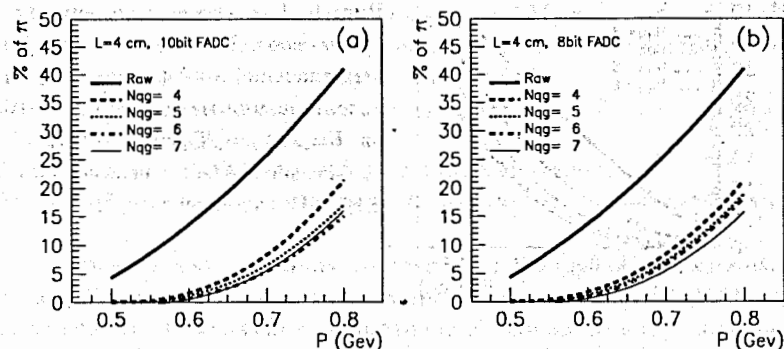


Рис. 8: Расчетное разделение ($\pi-k$) спектров (POO%) для оптимальных значений коэффициента k_s , при использовании метода гибкого отбора. $L=4$ см, $T_{dr}=13.2$ мкс, $k_w=1.2$, а) 10-битный FADC с нелинейностью $\pm 1/4$ МР, б) 8-битный FADC с нелинейностью $\pm 1/4$ МР.

В случае "реального" уровня шумов, при увеличении толщины зазора камеры до $L=4$ см разделение частиц становится лучше (Рис. 8а).

Для 8-битной модели реального FADC с нелинейностью $\pm 1/4$ МР результаты на Рис. 8б лишь слегка отличаются от аналогичных результатов для 10-битного FADC.

При моделировании значение времени дрейфа электронов (при бесконечно большом τ_e) менялось в диапазоне $\pm 30\%$ – заметных изменений в величинах POO% при этом не было обнаружено.

"Выключение" радиоактивного β -распада ^{85}Kt дало незначительное улучшение в POO% (порядка 5%).

Моделирование было проведено так же для случая использования сигнала с одного электрода с двойным дрейфовым промежутком, когда сигналы с двух зазоров камеры накладываются друг на друга. При этом происходит увеличение величины сигнала, но информация о его "структуре" фактически теряется. На Рис. 9 приведены результаты расчета для этого случая.

Описанный метод анализа формы сигнала с целью исключения влияния энергичных δ -электронов позволяет улучшить разделение частиц по массе при относительно небольших значениях импульса. Предсказанное разделение π - и k -мезонов с импульсом 0.8 ГэВ/с в 4 см камере с жидким кри-

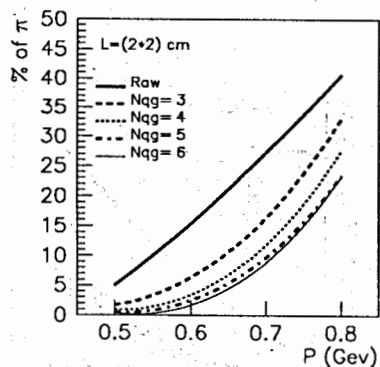


Рис. 9: Расчетное разделение ($\pi - k$) спектров (РОО%) для оптимальных значений коэффициента k , при использовании метода гибкого отбора. $L=(2 \times 2)$ см, $T_{dr}=6.6$ мкс, $k_w=1.2$, 10-битный FADC с нелинейностью $\pm 1/4$ МР (двойной зазор).

птоном составляет около 2σ . При более высоком импульсе этих же частиц отношение сигнала к шуму предусилителя не позволяет достичь этого уровня из-за малого значения RDE_{rst} .

Во второй главе описывается программируемый блок двумерного анализа на основе быстродействующего FADC и пример его использования.

Современные физические установки характерны значительно возросшим объемом информации, которая должна быть передана в ЭВМ. Для снижения объема записываемой на магнитную ленту информации необходимо производить отбор событий по заранее заданным критериям до их записи. Описываемый блок предназначен для преобразования в код двух входных параметров (Q_{ox} или времени) и выработки логического сигнала, наличие которого определяется содержимым памяти. Блок состоит из двух каналов, работающих в диапазоне до ~ 100 пКл. Блок содержит микросхему ОЗУ K500PY415 и два быстрых 6-ти разрядных FADC K1107PB3B прямого преобразования с выходом э.с.л. Оцифровка входных параметров и, тем самым, задание адреса ОЗУ осуществляется с помощью FADC. Микросхема ОЗУ заполняется и может быть прочитана ЭВМ через КАМАК. Число уровней квантования каждого из двух параметров 2^5 . Для калибровки и контроля блока имеется возможность считывать в ЭВМ содержимое обоих регистров FADC.

Каждый канал делает преобразование заряда в код ($Q \rightarrow \text{код}$),

$$Q = \int_{C_{mapm}}^{C_{mon}} i_{ox} dt$$

Если на вход IN любого канала включить встроенный генератор тока, то он будет работать как преобразователь время \rightarrow код.

Блок характеризуется малым временем решения ~ 100 нс, а также небольшим временем восстановления ~ 350 нс (во время которого выдается сигнал Busy). Блок выполнен в стандарте КАМАК, размер модуля 1 М.

Блок выполняет следующие команды КАМАК:

- NA(0)F(0) — чтение памяти с последующим инкрементом адреса;
- NA(1)F(0) — чтение регистров двух FADC;
- NA(0)F(24) — сброс FADC и счетчика адреса в "0", блокировка стартовых сигналов;
- NA(0)F(26) — разблокировка стартовых сигналов;
- NA(0)F(16) — запись в память с последующим инкрементом адреса.

Описывается организация триггера на базе двух ПБДА для выделения процесса образования кумулятивных протонов на установке СИГМА-АЯКС. Селектирование кумулятивных протонов и пионов по массе производилось на основе анализа времени пролета и кинетической энергии частиц. Для подавления фона случайных запусков использовался второй блок, анализирующий времена пролета частицы через два сцинтилляционных счетчика, расположенных на разных расстояниях от мишени. Использование ПБДА на основе быстродействующих FADC позволило осуществить функции триггера второго уровня за время порядка 100 нс и уменьшить количество запусков установки в $5 \div 10$ раз.

В третьей главе описывается интерфейс IBM PC для контроллера КАМАК. В ЛЯП ОИЯИ были разработаны интерфейсы к различным ЭВМ (серии DEC), состоящие из двух блоков: собственно интерфейса ЭВМ (КЭ001 для "СМ-4", КЭ002 для "Электроника-60" по каналу ПДП, КЭ003 — по программному каналу) и контроллера КАМАК — КК007. Последний является машинно-независимым и имеет три режима, два из которых блочные. Блок интерфейса IBM PC также разработан для совместной работы с контроллером КК007. При этом он может работать как в режиме программного обмена данными так и по каналу ПДП (в последнем, случае используется контроллер ПДП 8237 имеющийся в ПК). Длительность цикла обмена соответственно 24 мкс и 5.5 мкс на слово 16 бит (измерения для IBM PC/XT). Блок может работать по прерыванию.

Интерфейс состоит из двух плат ИПК-1 и ИПК-2, которые вставляются соответственно в свободный разъем расширения ПК и в крейт КАМАК. Платы соединяются кабелем из скрученных пар. Блок ИПК-2 соединяется также с контроллером КК007 с помощью дополнительной магистральной. К одному блоку ИПК-1 могут быть подключены последовательно два блока ИПК-2.

Написано программное обеспечение на Ассемблере IBM PC для работы с блоком во всех упомянутых режимах и, в частности, по прерыванию.

Подпрограммы вызываются из программ на языках FORTRAN-77 и Си.

В четвертой главе описываются микропрограммируемый контроллер НМЛ ЕС 5012-03 (с высокой скоростью обмена данными ≤ 96 кБайт/с) для подключения к ЭВМ серии DEC и IBM PC и интерфейс НМЛ типа CM 5309 (а так же CM 5306 или CM 5308) к IBM PC. Предельная скорость передачи информации для накопителя CM 5309, имеющего скорость протяжки ленты 1.14 м/с, при двух способах записи равна 36 Кбайт/с и 72 Кбайт/с (у модели CM 5306 скорость ленты = 2 м/с, у CM 5308 = 0.63 м/с). Оба блока позволяют выполнять набор стандартных операций с магнитофонами.

Контроллер включается совместно с интерфейсами ПДП (упомянутыми в 3-й главе): КЭ001, КЭ002 или интерфейсом ИПК для IBM PC. Контроллер магнитофона является микропрограммируемым устройством выполненным на элементах серии AM 2900 (1804), K589, K155, K573 по традиционной функциональной схеме. Микрокоманды длиной поля 48 бит записаны в 6 микросхемах ППЗУ K573РФ2 (или KP565PT7). Выборка микрокоманд из ППЗУ осуществляется под управлением устройства микропрограммного управления. Микропрограмма отлаживалась с помощью специально разработанного блока ОЗУ, связанного с ЭВМ и подключаемого вместо микросхем ППЗУ. Отлаженная микропрограмма затем была записана в ППЗУ контроллера.

Интерфейс НМЛ типа CM 5309 (CM 5306 или CM 5308) к IBM PC, подключается к НМЛ через формater ИЗОТ 5004-С, поставляемый вместе с накопителем, и позволяет работать с плотностью записи/чтения данных 800 и 1600 Вр1. Интерфейс выполнен на одной плате конструктива IBM PC XT на основе двух БИС программируемого параллельного интерфейса KP580BB55 и микросхем серий ТТЛ средней и малой интеграции. Передача информации производится по каналу ПДП. Имеется возможность полного автономного (без магнитофона) самоконтроля с диагностикой неисправного узла.

Для обоих устройств разработано программное обеспечение (в частности для работы по прерыванию) в виде пакетов подпрограмм нижнего уровня, тестовых программ и диалоговой системы архивации информации. Вызов подпрограмм производится из программ на языках (FORTRAN), FORTRAN-77 и Си для IBM PC.

В пятой главе приводятся результаты экспериментального изучения нового метода разделения частиц (τ - k) в диапазоне $(0.5 \div 0.7)$ ГэВ/с путем анализа формы сигнала с жидкокриптоновой ионизационной камеры. Для получения ионизационных потерь соответствующих k -мезонам были использованы протоны с такой же скоростью β . Детектор экспонировался на пионном и протонном пучках канала T11 ускорителя CERN PS. Независимая идентификация пучковых частиц осуществлялась газовым черенков-

ским счетчиком и двумя сцинтилляционными счетчиками, измеряющими время пролета (TOF). Многочастичные взаимодействия подавлялись с помощью сцинтилляционного счетчика антисовпадений и путем анализа сигналов во втором TOF -счетчике по амплитуде. Для этого был использован один канал ПБДА. Второй канал ПБДА использовался для измерения времени пролета и отбора частиц по этому параметру.

Четыре сигнала с выходов ФЭУ TOF -счетчиков подавались на дискриминаторы со следящим порогом а затем на преобразователи время-код (Le-Croy 2228A) для последующего анализа.

С целью оценки примеси распадных мюонов в пионном пучке с импульсом $(0.5 \div 0.8)$ ГэВ/с было проведено моделирование с учетом параметров использованной установки. Результат моделирования дает оценку примеси мюонов в событиях давших сигнал *Trigger* на уровне 2%, при этом характеристики ионизационных спектров мюонов и пучковых пионов существенно не отличаются.

Прототип жидкокриптонового калориметра состоял из последовательного ряда параллельных ионизационных камер размером 8×12 см² с зазором между высоковольтными и сигнальными электродами равным 2 см. Он помещался в криостат с внутренним объемом 6.7 литра. Камеры были расположены перпендикулярно оси пучка. Electroды были сделаны из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита FR4 (толщиной 0.5 мм), толщина медной фольги 18 мкм. Всего было использовано 9 электродов попеременно подключенных к "земле" (5 сигнальных плоскостей) и к высоковольтному питанию (4 электрода). Первый и последний сигнальные электроды имели сигнальные площадки размером 8×8 см², а на остальных трех были сделаны сигнальные полоски – стрипы шириной по 1 см. Два электрода имели параллельные стрипы с двух сторон и взаимно перпендикулярные друг другу. На одном сигнальном электроде ортогональные стрипы (в направлениях x и y) были сделаны с двух сторон. Был использован промышленно поставляемый криптон.

К пяти центральным стрипам на каждом стриповом электроде и к сигнальным площадкам на крайних электродах были подключены маломощные зарядочувствительные предусилители. Оставшиеся части сигнальных электродов были заземлены. Гибридные предусилители (на основе транзисторов *FET SNJ-903L*) располагались на плате в экранирующем кожухе непосредственно на верхней крышке криостата.

Сигналы с парафазных выходов интегрирующих предусилителей с помощью кабеля из скрученных пар подавались на формирующие усилители ($\tau_{sh} = 500$ нс). Сигналы с выходов этих усилителей оцифровывались с помощью амплитудных преобразователей (*ADC SILENA Mod. 4418/V*).

Для описываемого ниже анализа формы сигнала использовался только

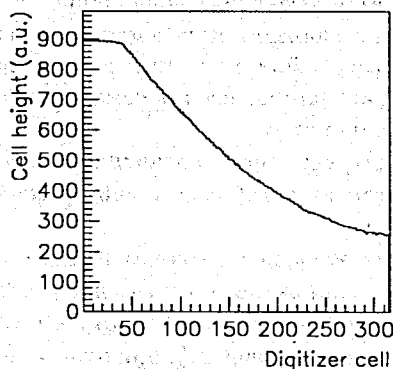


Рис. 10: Типичная форма сигнала, зарегистрированная оцифровщиком с выхода ИП (из событий прошедших все критерии отбора).

один канал, подключенный к последнему (по пучку) сигнальному электроду размером $8 \times 12 \text{ см}^2$ с 2-см зазором. Сигнал с гибридного предусилителя этого канала подавался, помимо формирующего усилителя, на широкополосный усилитель а затем на оцифровщик формы сигнала (Le-Croy Mod. 2262) с частотой выборки 40 МГц. Этот модуль в стандарте КАМАК позволяет сделать 316 измерений величины сигнала с 10-битным разрешением. Входной сигнал непрерывно оцифровывается до прихода сигнала *Stop*.

Информация с регистрирующей аппаратуры была записана при трех значениях импульсов пионов (580, 680 и 780 МэВ/с) и при трех соответствующих им значениях импульса протонов (1100, 1270 и 1440 МэВ/с). Импульсы частиц были рассчитаны с целью получить пионы и "каоны" с импульсами 500, 600 и 700 МэВ/с на входе в последнюю ионизационную камеру.

Из зарегистрированных были отобраны одночастичные события с треками в середине камеры и без заметного влияния внешних наводок на форму сигнала с выхода оцифровщика (Рис. 10). Они были использованы для последующего анализа.

Форма сигналов была проанализирована с целью получения значения времени дрейфа ($T_{dr} = 7.2 \pm 0.04 \text{ мкс}$). Путем двукратного "дифференцирования" формы сигнала получались несколько значений $dE/dx(i)_{mes}$ в одном 2-см зазоре. Для экспериментальной оценки величины τ_e был использован факт систематического снижения величины среднего значения в спектрах $dE/dx(i)_{mes}$ с увеличением номера (i) квази-слоя. В случае $N_{qg}=4$ были посчитаны отношения $dE/dx(n)_{mes}/dE/dx(4)_{mes}$ при $n = 2, 3, 4$, как для экспериментальных данных так и для смоделированных событий с таким же значением T_{dr} и аналогичным разбиением на группы. Спектр значений $dE/dx(1)_{mes}$, отвечающий первому квази-слою, был исключен из рассмотре-

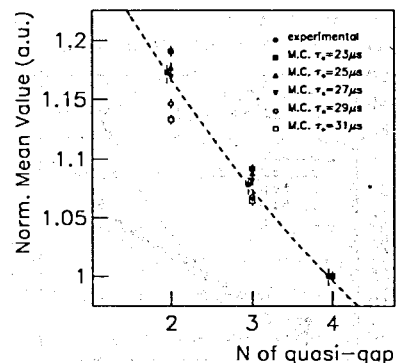


Рис. 11: Зависимость нормированных средних значений dE/dx от номера квази-слоя, для экспериментальных и моделированных данных. Нормировка сделана на среднее значение dE/dx в последнем 4-ом квази-слое.

ния, ввиду того, что они наиболее подвержены систематическим ошибкам. На Рис. 11 показаны результаты обработки экспериментальных и моделированных событий. Из этого сравнения была найдена оценка времени жизни свободных электронов $\tau_e \approx 27 \text{ мкс}$.

Основываясь на результатах калибровочных измерений был сделан вывод, что в нашем случае заряд собранный предусилителем оказался в 2.84 раза меньше чем следовало ожидать исходя из вычислений с учетом следующих значений $W=20.5 \text{ эВ/пару}$ и $\tau_e=27 \text{ мкс}$. По-видимому потеря заряда произошла в результате процесса рекомбинации. Подобный результат приводится в литературе, где указывается, что при использовании промышленного криптона высокой степени очистки (примесь $O_2 < 0.1 \text{ ppm}$, лучше чем в нашем случае) сигнал с камеры, тем не менее, был в два раза меньше чем после дополнительной очистки криптона.

В случае относительно малого τ_e (Рис. 11), когда это приводит к заметному изменению средних значений спектров $dE/dx(i)_{mes}$ в разных квази-слоях, необходимо провести некоторую процедуру нормировки. Тогда можно будет сравнивать значения $dE/dx(i)_{mes}$ в разных квази-слоях. Естественно предположить, что эти спектры в принципе должны быть одинаковыми, тогда для нормировки могут быть использованы кумулятивные функции спектров $dE/dx(i)_{mes}$ в разных квази-слоях. Такая нормировка использующая кумулятивные функции спектров $dE/dx(i)_{mes}$ в каждом квази-слое была успешно проверена при моделировании и использовалась в анализе данных.

При использовании метода гибкого отбора разделение скорректированных спектров удельных потерь для экспериментально полученных данных улучшилось по сравнению с методом УС, оно показано на Рис. 12 а. Для сравнения на Рис. 12 б показаны результаты разделения частиц полученные

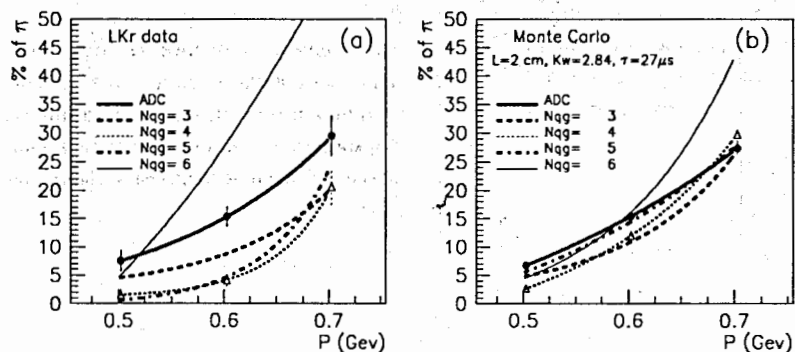


Рис. 12: а) Характеристика экспериментально полученного разделения (π - k) частиц (РОО%) при использовании метода гибкого отбора; б) Аналогичные характеристики при моделировании с параметрами полученными в эксперименте (помимо величины шума). Различные кривые соответствуют разному разделению на квази-слои: Ошибки приведены только для ADC спектров и для случая $N_{qg}=4$; при другом числе квази-слоев ошибки близки к соответствующим значениям при $N_{qg}=4$.

при моделировании 2-см жидкокриптоновой камеры. В качестве параметров k_w , T_{dr} и τ_c были взяты соответствующие результаты из анализа наших экспериментальных данных, "амплитуда" шума использованная в этих вычислениях полагалась равной 1 (в условных единицах, использованных при моделировании). Напомним что это соответствовало измеренным шумам предусилителя с дополнительной емкостью на входе равной $C_{in}=82$ пФ. В нашем случае дополнительная емкость на входе предусилителя была около 30 пФ. Таким образом различие экспериментальных и расчетных данных неплохо объясняется другой величиной шума, заложенной при моделировании.

Поскольку фактический заряд с камеры был в 2.84 раза меньше ожидаемого – экспериментальное разделение частиц оказалось хуже чем расчетное для чистого криптона (Рис. 7а).

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. Промоделированы ионизационные потери заряженной частицы и возникающих δ -электронов в жидком криптоне и последующий сбор за-

ряда интегрирующим предусилителем. Подобран "программный генератор" шума реального предусилителя. Предлагается метод анализа нескольких значений $dE/dx(i)_{mes}$, позволяющий (с учетом шума) улучшить селективное разделение частиц по сравнению с методом усеченного среднего. Показана возможность селективного разделения π - и k -мезонов на уровне 2σ при импульсе ≤ 0.8 ГэВ/с в 4-см зазоре жидкокриптоновой ионизационной камеры.

2. Подтверждена возможность улучшения разделения π - и k -мезонов в одном 2-см зазоре жидкокриптоновой камеры, что позволило поднять границу разделения на уровне 2σ с 0.6 до 0.685 ГэВ/с.

Делается сравнение экспериментальных результатов с предсказаниями моделирования и указываются пути улучшения отношения сигнала к шуму.

Описанный метод может быть использован для идентификации частиц в относительно тонких детекторах, в частности для регистрации частиц с $Z > 1$, а так же для определения некоторых параметров камеры (например T_{dr} и τ_c).

3. Разработанный программируемый блок двумерного анализа на основе быстродействующего FADC дает возможность быстрого (≈ 100 нс) и гибкого отбора событий при одновременном анализе двух параметров. Программируемость и, как следствие, гибкость таких блоков позволяют использовать их в других экспериментах.

4. Описанный интерфейс IBM PC для КАМАК, позволяет производить обмен информацией как по каналу ПДП, так и по программному каналу. Наличие аппаратных средств и соответствующего математического обеспечения дает возможность принимать информацию по каналу ПДП в режиме прерываний, что увеличивает скорость приема при параллельной обработке. Он позволяет также работать с новыми более быстрыми компьютерами IBM PC/AT-386.

5. Разработанный микропрограммируемый контроллер магнитофона ЕС 5012-03 (для ЭВМ типа "СМ-4", "Электроника-60", IBM PC) и интерфейс НМЛ типа СМ 5309 (СМ 5306, СМ 5308) к IBM PC позволяют реализовать набор стандартных операций на НМЛ. Передача информации производится по каналу прямого доступа к памяти процессора; имеется возможность работы по прерыванию – что дает высокую скорость приема информации и эффективность работы процессора.

Разработанное программное обеспечение в виде пакета подпрограмм нижнего уровня, тестовых программ и диалоговой системы архивации информации дает возможность работы с магнитной лентой на IBM PC и использования программ на языках FORTRAN-77 и Си.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кулинич П.А., Седых Ю.В., Сергеева Н.В., *Интерфейс КАМАК персонального компьютера "Правец-16"*. – Сообщение ОИЯИ, P10-87-876, Дубна, 1987.
2. Кулинич П.А., Ольшевский А.Г., Сергеева Н.В., *Контроллер магнитофона типа ЕС 5012*. – Сообщение ОИЯИ, P10-88-234, Дубна, 1988.
3. Кулинич П.А., Толедо Р., *Программируемый блок двумерного анализа на основе быстродействующего аналого-цифрового преобразователя*. – ПТЭ, 1988, т.6, с.85.
4. Денисов Д.С., Ерошин О.В., Кулинич П.А., Лейтнер Р., Ольшевский А.Г., Половников С.А., Толедо Р., *Селектор событий на базе программируемых блоков двумерного анализа для выделения процесса образования кумулятивных протонов*. – ПТЭ, 1989, т.5, с.131.
5. Комиссаров Е.В., Кулинич П.А., Сидоркин В.В., *Интерфейс НМЛ СМ 5309 (06, 08) для ПК IBM PC*. – Микропроцессорные средства и системы, 1990, т.4, с.84.
6. Kulinich P.A., *Usage of shape of signal from liquid ionization chamber for rejection delta electrons and multiple measurement of dE/dx* . – Preprint JINR, E13-94-97, Dubna, 1994 (submitted to NIM).
7. Cantoni P., Frabetti P.L., Stagni L., Kulinich P.A., Diaferia R., Parmegiano S., Maggi B., Lanni F., Palombo F., Sala A., Manfredi P.F., Re V., Speziali V., *Experimental study of particle separation in a LKr ionization chamber by multiple measuring of dE/dx using the shape analysis of the signal*. – Preprint JINR, E13-94-214, Dubna, 1994 (submitted to NIM).

Рукопись поступила в издательский отдел

17 июня 1994 года.