

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 - 7102

Г-938

ГУЗИК
Збигнев

ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ ОТБОРА СОБЫТИЙ
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Специальность 260 -
приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного
института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник

старший инженер

Э.Н.ЦЫГАНОВ,

М.ТУРАЛА

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

кандидат технических наук

- А.П.ЦИТОВИЧ,

В.Г.ТИШИН

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт физики высоких энергий (г.Серпухов).

Автореферат разослан "___"_____1973 г.

Защита диссертации состоится "___"_____1973 года на
заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий.

Адрес: г.Дубна, Московской области, конференц-зал ЛВЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

С.В.МУХИН

"___"_____1973 года.

13 - 7102

ГУЗИК
Збигнев

ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ ОТБОРА СОБЫТИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Специальность 260 -
приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Развитие экспериментальной ядерной физики неразрывно связано с уровнем развития техники, в основном электроники. Глубокое проникновение электронных методов в ядерную физику объясняется тем, что исследования в этой области связаны с быстро протекающими процессами, изучение которых другими методами затруднено.

В большинстве экспериментов число полезных событий, интересных с физической точки зрения, составляет обычно доли процента среди всех происходящих. Это обстоятельство ограничивает скорость набора статистики и требует больших затрат времени ускорителей и вычислительных машин.

Используя определенные критерии, электронными методами можно реализовать различные требования отбора событий, такие как:

- прохождение частиц через всю установку,
- наличие определенного количества регистрируемых частиц,
- определенные угловые и кинематические зависимости,
- отбор и минимизация зарегистрированной информации при передаче на ЭВМ
- и другие.

Данная диссертация посвящена изучению вопроса предварительного отбора событий при работе "на линии" и созданию специальных электронных схем, позволяющих практически реализовать эту задачу. Результаты исследований и электронные схемы для отбора событий описаны и опубликованы в работах, посвященных обзору современных методов отбора физических событий^{/1/}, анализу цифровых решающих систем для отбора событий рассеяния^{/2/}, цифровым процессорам для селекции данных в эксперименте по Π -р рассеянию^{/3,4/}, электронным системам отбора^{/5,6/}, специализированным блокам "САЛАС"^{/7,8/}. Основные результаты исследований доложены на международном симпозиуме по ядерной электронике в Майями-Бич (США)^{/9/}.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и приложений.

Первая глава обзорная. Она посвящена рассмотрению современных методов отбора физических событий по критериям выполнения специальных угловых и кинематических зависимостей, срабатывания определенного количества каналов в годоскопических детекторах и т.д. Рассматриваются также вопросы минимизации времени передачи данных на ЭВМ.

Выборочную роль годоскопических систем можно свести к двум основным задачам:

- решение по типу (быстродействию) запуска,
- решение по критерию отбора,

Решение, вырабатываемое электронными системами, может быть использовано для запуска медленных детекторов с большим мертвым временем, в частности, искровых камер. В этом случае решающие системы должны обладать очень высоким быстродействием, так как время памяти искровых камер составляет примерно микросекунду. В этом случае, кроме времени, нужного на выработку "мастера", очень существенную роль играет время передачи сигналов по кабелям и время пролета частицы через спектрометр /10/.

В случае применения годоскопов как координатных детекторов проблема быстродействия не столь важна, и скорость набора статистики определяется, в основном, емкостью памяти ЭВМ, работающей "на линии" с установкой. Можно применять быстродействующие вычислительные машины с большим объемом памяти /11/, либо пользоваться специальным решающим устройством, вырабатывающим сигналы, позволяющие записывать в ЭВМ только полезную информацию /3,4/. Дополнительным требованием является соответствующая минимизация передаваемого массива информации /7,12,13/.

Во второй главе приведен анализ решающего цифрового устройства для отбора событий рассеяния. Рассматриваются ошибки, допускаемые устройством, и оцениваются технические возможности его реализации.

Для определения угла рассеяния частиц на ядрах мишени нужны, по крайней мере, три годоскопа для каждой проекции (XZ и YZ).

На рис.1 показана схема установки, позволяющей создать отбор событий рассеяния. Угол рассеяния частицы равен

$$\theta_p = \frac{X_3 - X_2}{L} - \frac{X_2 - X_1}{L} \quad (1)$$

При преобразовании этого уравнения, вводя условия желаемого угла обрезания, имеем:

$$F_x = |A \cdot x_1 - B \cdot x_2 + C \cdot x_3 - D_x| < Z_x \quad (2)$$

где: A, B, C - коэффициенты, зависящие от геометрии установки,

X_{1,2,3} - двоичные номера сработавших каналов годоскопа,

D - константа, определенная сдвигом камер относительно условной оси установки,

Z - константа, пропорциональная желаемому углу обрезания.

Для выделения пространственного угла нужно применить пространственный алгоритм, который в идеальном виде должен выражаться формулой:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} < Z \quad (3)$$

но в реальных условиях, для простоты аппаратной реализации, применяется в виде

$$F_x < Z_x \quad , \quad F_y < Z_y \quad (4)$$

Неэффективность отбора событий рассеяния связана с двумя основными причинами:

- а) несоответствие применяемого алгоритма реальным условиям,
- б) неоптимальность геометрии установки.

Влияние геометрии установки на эффективность отбора продемонстрировано на рис.2.

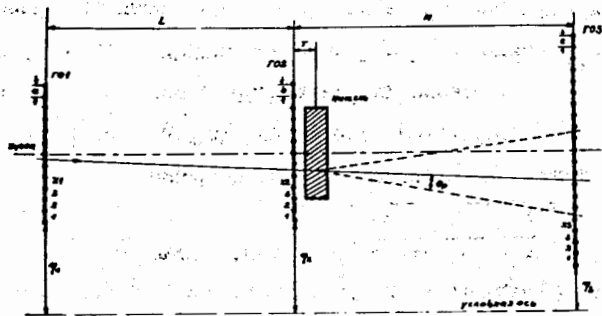


Рис.1. Установка для определения угла рассеяния частиц.

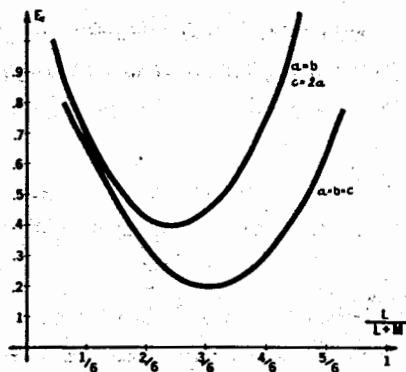


Рис.2. Влияние геометрии установки на эффективность отбора.

Ошибка выделения прямой с помощью алгоритма (2) растет пропорционально разнице между реальным и практическим коэффициентами (A, B, C, D).

В целом ошибки алгоритма отбора можно свести к следующему/2/:

1. Неэффективность установки.
2. Координатная ошибка места прохождения частицы и возникающая вследствие этого ошибка отбора прямых траекторий.
3. Неоптимальность размеров установки.
4. Неточность подбора коэффициентов.
5. Размеры (неточность) и место расположения мишени.
6. Многократное рассеяние.
7. Неточный пространственный угол обрезания.

Практическое решение уравнения (2) должно выполнять следующие функции:

1. $A \cdot x_1 = F1$
2. $B \cdot x_2 = F2$
3. $C \cdot x_3 = F3$
4. $F1 + F3 = F4$
5. $F2 + D = F5$
6. $F4 - F5 = F6$
7. $F6 < Z_*$ $F7=1$,когда $F6 < Z$
 $F7=0$,когда $F6 \geq Z$.

Реализуя эту программу для обеих плоскостей, можно выделить желаемый пространственный угол обрезания. Если приписывать выполнению неравенств (4) логическую единицу, общее решение будет совпадением решений в обеих плоскостях (рассеяние хотя бы в одной плоскости свидетельствует о полезном событии). Аппаратурное выполнение приведенной программы можно осуществить либо

асинхронным, либо синхронным методом. В асинхронном методе все частичные операции выполняются в отдельных узлах последовательно. Используя синхронный метод, можно весь цикл работы разбивать на такты, в которых производятся по очереди операции, описываемые алгоритмом. По сравнению с асинхронным, синхронный метод экономнее по числу применяемых компонентов, но медленнее.

Третья глава посвящена разработке решающих устройств для отбора событий рассеяния и их применению в эксперименте по измерению дифференциального сечения упругого рассеяния Π -мезонов на протонах в интервале энергий 30–60 Гэв^{/14/}.

Исследование упругого рассеяния частиц высоких энергий на малые углы, в особенности для интервала, где существенна интерференция между ядерными и кулоновскими силами, представляет собой интересную экспериментальную задачу. Для решения этой задачи необходимо проводить измерения в области квадрата переданного 4-импульса $0.001 \leq t \leq 0.100$ (Гэв/с)². Очевидно, что при этом вследствие конечных угловых и пространственных распределений пучка возникает необходимость регистрации прямых прохождений частиц пучка и дальнейшего анализа данных при помощи ЭВМ с целью отбора интересующих нас событий. Вследствие малого выхода изучаемого процесса ($\sim 2 \cdot 10^{-3}$) эффективное и быстрое проведение такого эксперимента возможно при помощи специального решающего устройства, позволяющего вырабатывать мастерные сигналы только в случае рассеяния на углы, больше заданных. Таким образом удастся существенно повысить скорость набора статистики даже при использовании сравнительно малой вычислительной машины.

Автором был предложен и разработан^{/3,4/} быстрый арифметический процессор, который за время меньше 1 мксек обрабатывает зашифрован-

ную информацию, вычисляя углы рассеяния в X -и Y -плоскостях и сравнивая их с заданными константами, а после этого выдает разрешение на передачу события в ЭВМ.

Установка, предназначенная для исследования рассеяния Π -мезонов с импульсами 30–60 Гэв/с на протонах на малые углы, была разработана в ИФВЭ (Серпухов)^{/14/}. Установка работала "на линии" с ЭВМ "Минск-22"^{/15/}, что позволяло за цикл ускорителя регистрировать $1,2 \cdot 10^3$ событий.

Установка была выполнена на базе сцинтилляционных годоскопов с количеством каналов 16, 16, 36. Ширина счетчиков была 3, 3, 5 мм соответственно. В связи с большим количеством вещества перед мишенью вторая секция годоскопов (ГО2) была заменена пропорциональными камерами с шагом намотки 2 мм. Эта замена позволила дополнительно улучшить пространственное разрешение спектрометра. Для данной геометрии установки были оптимизированы приближенные алгоритмы отбора:

- для варианта без пропорциональной камеры

$$|2X_1 - 3X_2 + 2X_3 - K_x| < z_x \quad (5)$$

- с пропорциональной камерой:

$$|2X_1 - 2X_2 + 2X_3 - K_x| < z_x \quad (6)$$

Разница между реальным и приближенным алгоритмами была вычислена по методу Монте-Карло (рис. 3).

Из рисунка видно, что алгоритмы различаются незначительно. Блок-схема процессора для одной плоскости, реализующего неравенство (5), показана на рис. 4.

Информация из годоскопов поступает на буферные регистры, затем на три сумматора, после чего происходит вычисление модуля. Бинарная величина, пропорциональная углу рассеяния частицы,

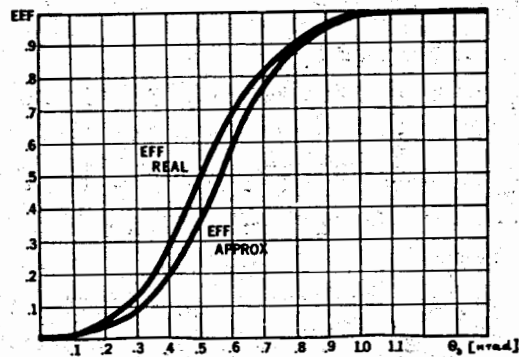


Рис. 3. Разница между реальным и приближенным алгоритмом отбора.

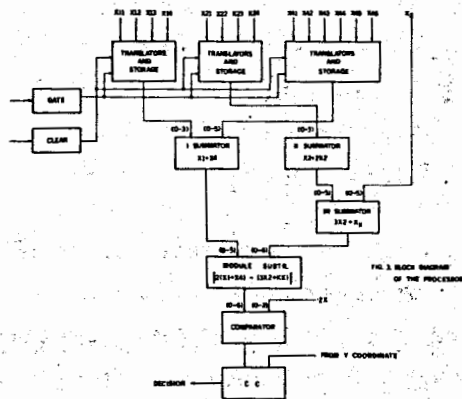


Рис. 4. Блок-схема цифрового сортирующего устройства.

сравнивается с константой z , что позволяет выдавать решение в случае превышения заданного угла.

Поскольку проблема быстродействия в данном случае не столь важна, были применены обычные вентили ТТЛ типа "И-НЕ".

Для заданного угла обрезания, равного 0,5 мрад, коэффициент подавления составил 200 ± 25 . При обработке "off-line" оказалось, что статистика набиралась в 16 раз быстрее, чем в случае, когда процессор не применялся. Рис.5 показывает пространственное распределение частиц без применения отбора (А), с отбором в масштабе 10:1 (В) и отношение подавленного распределения к неподдавленному (С).

В главе четвертой описаны специальные универсальные электронные схемы, предназначенные для отбора физических событий в экспериментах при высоких энергиях.

Для высокой эффективности отбора событий рассеяния процессором /3,4/ запуск установки должен происходить только тогда, когда во всех из шести детекторов (сцинтилляционные годоскопы, пропорциональные камеры) зарегистрировалась одна и только одна частица. Необходим прибор, позволяющий производить предварительный анализ событий по количеству зарегистрированных каждым годоскопом треков, кодировать полученную информацию в двоичный формат, посылать ее затем в процессор и после решения заносить отобранную информацию в ЭМ. Основной, шестнадцатиканальный блок /5/ (реализующий эту задачу), выполнен полностью на микросхемах серии со связанными эмитерами и позволяет строить общий объем каналов одного годоскопа до $2^8 - 1$. Применен асинхронный принцип работы устройства, что повышает скорость и надежность шифрации. Собственное время задержки информации составляет около 150 нсек.

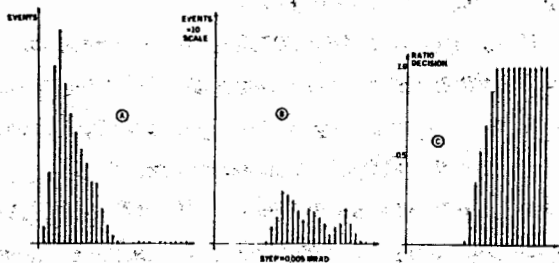


Рис.5. Гистограмма пространственного распределения.

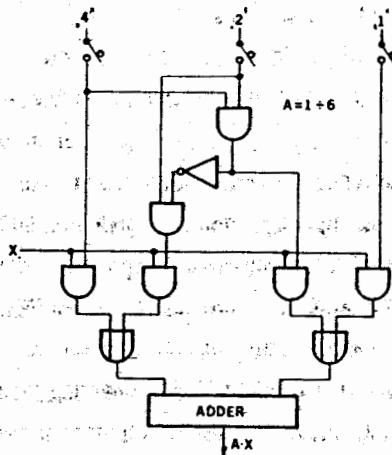


Рис.6. Принцип бинарного умножения.

Применяемые в физических экспериментах различные детекторы частиц требуют для эффективной работы тщательного подбора их параметров. Очень удобной для этих целей является система стандартных, универсальных пересчетных блоков. Разработанное автором^{/6/} компактное устройство может принести большую пользу при разного типа измерениях (снятие кривых задержанных совпадений, определение плато пропорциональных камер и др.). Используемые в настоящее время сцинтилляционные и черенковские счётчики работают со скоростью до 10^8 имп/сек, так что максимальная скорость счёта прибора – 100 Мгц. Устройство представляет собой самостоятельный блок и выполнено в двух вариантах – "таймер" и "пересчетка". Емкость устройства – 6 декад. Внешняя индикация в коде I-2-4-8.

Предложенный автором универсальный цифровой блок "САМАС"^{/8/} предназначен для арифметического отбора событий рассеяния с использованием пропорциональных камер. Арифметика отбора должна обладать высоким быстродействием (запуск искровых камер), поэтому в качестве логических элементов устройства выбраны микросхемы с самым большим в настоящее время быстродействием – элементы со связанными эмиттерами. Основное достоинство этого блока заключается в его универсальности. Экспериментальные годоскопические установки для изучения упругого рассеяния могут содержать годоскопы с разными шагами и с разными базами^{/2/}. Как шаги годоскопов, так и базы установки могут по ходу опыта меняться. Применяемые раньше цифровые системы отбора были пригодны только для одного конкретного алгоритма отбора, причем коэффициенты этого алгоритма должны иметь вид простых, небольших чисел, что вынуждает подбирать установку к электронике, а не наоборот. Данный блок позволяет реализовать практически любой вид алгоритма отбора, что дает возможность применить его для любой установки. Универсализа-

ция алгоритма выполнена на базе бинарного умножения, принцип работы которого показан на рис.6.

Коэффициенты алгоритма (1-6) подбираются на передней панели блока.

Для регистрации координат с пропорциональных камер часто применяются отдельные электронные схемы для каждой проволоки, находящиеся прямо на камере /16,17/. Такое решение является сравнительно дорогим, но простым и удобным, и благодаря производимому отбору случаев позволяет использовать все положительные параметры пропорциональных камер: хорошее временное разрешение, малое мертвое время, высокую эффективность для многих треков и др. Разработанный специализированный блок "САМАС" /17/ позволяет считывать данные с 16-ти пропорциональных камер, содержащих по 512 проволок.

Основные результаты описанных в диссертации исследований и разработок сводятся к следующему:

1. Предложены, разработаны и изготовлены цифровые устройства для отбора событий рассеяния.

Применение методики отбора событий рассеяния в эксперименте по измерению дифференциального сечения упругого рассеяния в интервале энергий 30-60 Гэв, поставленного на ускорителе ИФВЭ в Серпухове, позволило ускорить набор статистики в 16 раз. Устройство проработало на пучке частиц свыше 1000 часов.

2. Рассмотрены современные электронные методы отбора физических событий по критериям срабатывания определенного количества каналов годоскопического детектора, выполнения специальных кинематических и угловых зависимостей, минимальности времени передачи данных в ЭВМ. Приведен анализ цифрового устройства для отбора событий рассеяния в физике высоких энергий. Исследованы ошибки, допускаемые устройством в зависимости от структуры алгоритма отбора, параметров пучка, геометрии установки, неточности подбора

коэффициентов алгоритма и др. Предложен и выполнен метод универсализации операции умножения в цифровом устройстве отбора в целях применения его в любой установке для регистрации событий рассеяния.

3. Разработана система цифро-аналогового шифратора данных для годоскопических детекторов. Система шифрации данных производит отбор случаев с одной и только одной частицей и шифрует поступающую информацию в двоичный формат. Максимальное количество каналов одного детектора 2^8 - 1. Время выполнения операции - 150 нсек.

4. Предложен и разработан универсальный цифровой процессор для отбора событий рассеяния. Устройство позволяет осуществлять набор коэффициентов алгоритма от 1 до 6. Время решения не превышает 100 нсек.

5. Разработан блок "САМАС" для считывания информации с регистрирующей электроники 16-ти пропорциональных камер, содержащих по 512 проволок. Схема производит быстрый отбор полезной информации и передает ее на ЭВМ в зашифрованной форме.

6. Разработано пересчетное устройство для работы при больших нагрузках ($\sim 10^8$ имп/сек). Система пересчетных блоков предназначена для измерений параметров пропорциональных камер, снятия кривых задержанных совпадений и др. Схема содержит 6 декад с индикацией и управлением, помещенных в одном блоке и имеющих возможность работать в режимах "счёт" и "таймер".

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1.З.Гузик. Решающие устройства и отбор полезной информации при использовании годоскопических систем, Сообщение ОИЯИ, 13-6696, Дубна, 1972.
- 2.Ф.К.Алиев,З.Гузик,М.Турала. Анализ цифровых решающих систем для отбора событий рассеяния, Сообщение ОИЯИ, 13-6535, Дубна, 1972.

3. Ф.К. Алиев, Э.Гузик, Р.Красовски, В.Попельски, М.Турала, Э.Н.Цыганов, Э.Хийдук. Быстрый цифровой процессор для отбора событий рассеяния при высоких энергиях. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-6065, Дубна, 1971.
4. А.А. Дерезицкий, Э.Гузик, Д.А. Матуленко, С.В. Нурушев, Е.В. Смирнов, В.Л. Селевьяков. Цифровое решающее устройство для применения в экспериментах по физике высоких энергий. Препринт ИФВЭ, СЭФ 72-4, Серпухов, 1972.
5. Э.Гузик, М.Турала, Э.Цисек. Цифро-аналоговый шифратор данных для годоскопических систем. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-6317, Дубна, 1972.
6. Э.Гузик, Р.Красовски, М.Турала. Пересчетный прибор на 100 Мгц для физических экспериментов. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-5793, Дубна, 1971.
7. Э.Гузик, М.Турала. Блок "САМАС" для считывания информации с электроники пропорциональных камер. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-6748, Дубна, 72.
8. Э.Гузик, С.Г.Басиладзе. Универсальный цифровой процессор для отбора событий рассеяния. Препринт ОИЯИ, ПЗ-6917, Дубна, 1973.
9. F.K. Aliev, Z. Guzik, E.N. Tsyganov, M. Turala. A Fast Arithmetic for Decision Making at Small Angle Scattering Experiments, Proceedings of the IEEE Nuclear Science Symposium, Miami Beach (Florida, USA) Dec., 1972.
10. Z. Guzik et al., Nucl. Instr. and Meth., 92(72), 337-341.
11. K. J. Foley et al., Phys. Rev. Lett., 14(65), 74.
12. D. Aebischer et al., Nucl. Instr. and Meth., 99(72), 405.
13. J. B. Lindsay et al., VII Int. Symp. Nucl. Electr., Warsaw, 1972.
14. А.А. Борисов и др. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, 1970. ОИЯИ, Д5-5605, Дубна (1971).
15. Д.Е. Белоцветов и др. ПТЭ, Москва, 1970, 1.
16. J. L. Pellegrin. SLAC-TH-70-22.
17. Е.А. Силаев. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-6669, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 апреля 1973 года.