



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2001-31  
ОНФ

Е.Н. Ардашев, В.В. Бабинцев, А.П. Воробьев, Е.А. Усенко,  
А.Г. Холоденко, Ю.П. Цюпа, Н.А. Шаланда  
*Институт физики высоких энергий, Протвино*

Г.А. Богданова, В.Ю. Волков, А.К. Лефлат  
*Научно-исследовательский институт ядерной физики  
им. Д.В.Скобелевича МГУ, Москва*

Л.В. Пилавова, Б.И. Черный  
*Научно-исследовательский институт технологии и автоматизации  
производства, Зеленоград*

Ю.П. Петухов  
*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна*

## ПРОТОТИП АКТИВНОЙ МИШЕНИ УСТАНОВКИ СВД-2

Направлено в ПТЭ

Протвино 2001

**Аннотация**

Ардашев Е.Н. и др. Прототип активной мишени установки СВД-2: Препринт ИФВЭ 2001-31. – Протвино, 2001. – 11 с., 8 рис., библиогр.: 3.

Описана оригинальная стриповая кремниевая мишень, предназначенная для использования в быстром триггере установки СВД-2, ее спектрометрический тракт и электронные модули быстрого триггера. Проведены испытания мишени в пучке пионов с импульсом 43 ГэВ/с. Приведены основные характеристики мишени, спектрометрического тракта и модулей выработки сигналов быстрого триггера, полученные в результате испытаний.

**Abstract**

Ardashev E.N. et al. The prototype of silicon live target of SVD-2 set-up.: IHEP Preprint 2001-31. – Protvino, 2001. – p. 11, figs. 8, refs.: 3.

The original design of the strip Si live target have been tested. The main results of beam test (by pions beam  $p=43$  GeV/c) of Si target and its electronic environment are discribed.

## Введение

Нами исследовался прототип активной мишени, предназначенной для дальнейшего использования в составе прецизионного вершинного детектора в эксперименте по изучению механизмов образования и распадов очарованных частиц в  $pA$ -взаимодействиях при 70 ГэВ [1]. В эксперименте на мишень возложены следующие функции:

- выделение событий с первичным взаимодействием в мишени на стадии выработки сигнала триггера I уровня;
- предварительная локализация вершины события по  $Z$  и  $XY$  координатам, используемая далее в формировании триггера II уровня и последующей геометрической реконструкции события;
- обеспечение возможности исследования  $A$ -зависимости механизмов образования очарованных частиц путем смены полупроводникового материала мишени или установки между ее активными слоями дополнительного пассивного слоя фольги из металла (Au, Pb, Pt, W).

В работе испытывался полномасштабный вариант мишени, полностью отвечающий условиям эксперимента. Мишень была смонтирована в контейнере, идентичном контейнеру прецизионного вершинного детектора. Основными целями испытаний в пучке являлось:

- испытание мишени в условиях приближенных к реальным и измерение ее основных характеристик;
- апробация в реальных условиях системы сбора данных — фрагмента общей системы сбора данных установки СВД-2;
- выявление уязвимых элементов в конструкции мишени с целью их усовершенствования в окончательной версии;
- исследование предельных нагрузочных характеристик мишени и электронных модулей ее ближайшего окружения.

## Конструкция мишени

Конструкция мишени разрабатывалась исходя из физической программы эксперимента, параметров первичного пучка протонов и основывалась на результатах опыта, полученного нами при исследовании прототипов, описанных в [2]. В отличие от предшествующих вариантов, настоящая конструкция базировалась на следующей концепции:

- Для включения сигналов с мишени в решение триггера I уровня мишень должна быть достаточно быстродействующей и обязана легко “переваривать” планируемую загрузку первичным пучком. В нашем случае это достигается уменьшением поперечных размеров мишени приблизительно до величины “пятна” первичного пучка, использованием в спектрометрическом тракте формировок с малой постоянной времени, быстрых усилителей и распараллеливанием сигналов путем введения дополнительной поперечной сегментации мишени.
- Для снижения уровня фона от взаимодействия первичного пучка с элементами конструкции мишени уменьшено до минимума количество вещества, непосредственно прилегающего к мишени.
- Уменьшено расстояние между мишенью и входами предварительных усилителей.
- Снимаемая с мишени информация сохраняется для использования в последующем анализе данных. Для этого сигнал с мишени раздваивается на две ветви, одна из которых участвует в выработке триггерного сигнала, информация со второй, после оцифровки, поступает в общий поток данных, предназначенных для последующей “off-line” обработки.
- Все элементы мишени технологичны в изготовлении и легко воспроизводимы. Для этого, по-возможности, использованы наилучшие из доступных нам технологий. Вспомогательные маски, оправки, шаблоны и т.п. могут применяться неоднократно.

Мишень, состоящая из набора стриповых кремниевых детекторов, смонтирована в центре печатной платы, изготовленной из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм в виде диска диаметром 200 мм с отверстием в центре диаметром 30 мм. На этой же печатной плате размещены предварительные усилители мишени. Длина коммутационных печатных проводников, связывающих стрипы кремниевых детекторов мишени со входом соответствующих предварительных усилителей, не превышает 30 мм. Сборка мишени велась непосредственно на печатной плате с позиционированием по центральному отверстию. Общий вид мишени в сборе с предварительными усилителями показан на рис. 1.

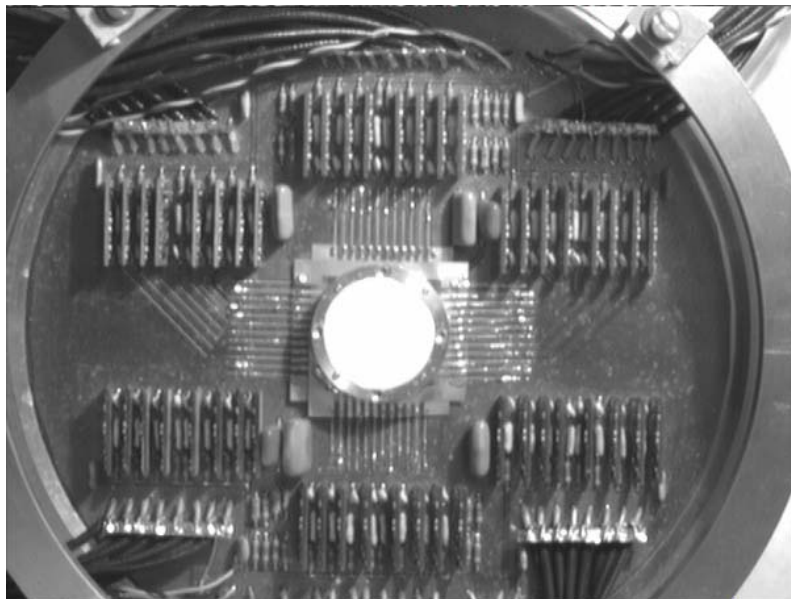


Рис. 1. Мишень в сборе.

Собственно мишень выполнена в виде цилиндра. Стенки цилиндра образуются собранными в пакет кольцами, изготовленными из плексигласа. Дно и крышка цилиндра — натянутый алюминизированный майлар толщиной 20 мкм. В рабочем состоянии мишень ориентирована так, что ось цилиндра совпадает с направлением первичного пучка частиц. Между каждой парой колец вложена и натянута печатная плата, на которой закреплен кремниевый детектор, выполненная из алюминизированного полиимида (толщина несущего полиимида равна 10 мкм, печатных алюминиевых проводников — 20 мкм). Натяжение платы в радиальном направлении осуществляется автоматически при сборке мишени вследствие конического профиля сопряжения колец друг с другом в пакете. Коэффициент растяжения платы в радиальном направлении составляет приблизительно 0.04 величины внутреннего радиуса кольца. Позиция платы относительно кольца задается сборочными шпильками и соответствующими отверстиями, имеющимися на кольцах и платах. По центру каждой из полиимидных плат к ее алюминиевым проводникам разварен кремниевый полосковый детектор. Необходимо отметить, что крепление кристалла детектора к плате осуществлено только за счет симметричной его разварки к печатным проводникам. Внешний вид полиимидной платы с разваренным на ней кристаллом детектора приведен на рис. 2.

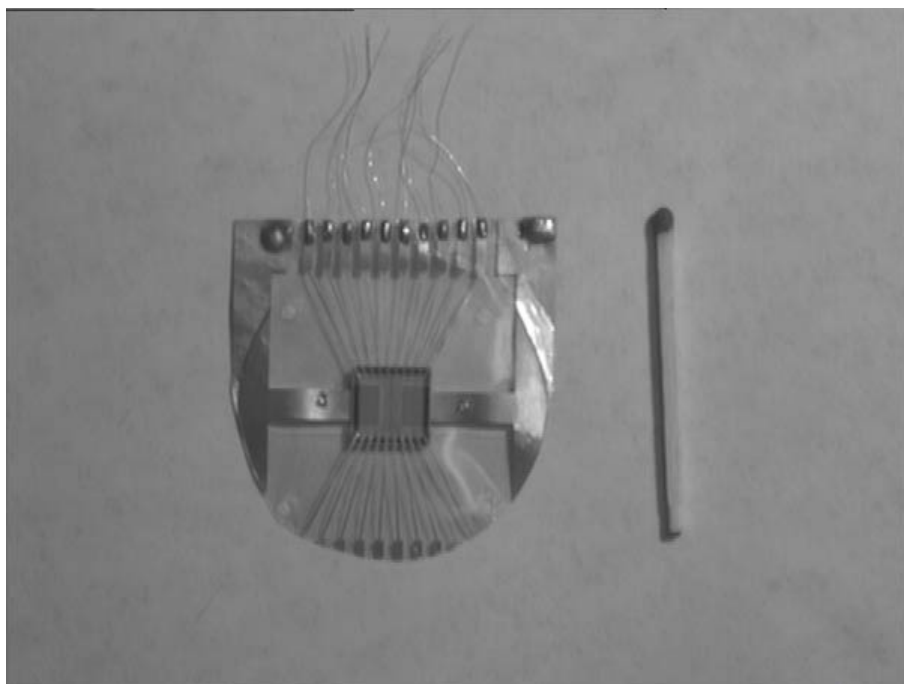


Рис. 2. Отдельный слой мишени.

Использование описанной выше технологии крепления кристалла и примененный нами способ его сопряжения с электроникой ближайшего окружения позволили свести к минимуму количество вещества в области непосредственно прилегающей к рабочей зоне активного слоя мишени. Полное число активных слоев в мишени равно шести. Число стрипов в каждом активном слое мишени равно 8. Ширина стрипа — 1 мм. Кристалл мишени выполнен в форме квадрата со стороной равной 10 мм и толщиной “по пучку” равной 300 мкм. Расстояние между соседними активными слоями мишени в продольном

направлении задается толщиной колец и составляет 2 мм. Первый и последний слой мишени выполнены из алюминизированного майлара. Они выполняют роль дополнительного электромагнитного экрана и предохраняют первый и последний кристаллы сборки мишени от механических повреждений при ее монтаже.

Ориентация стрипов мишени в соседних слоях мишени — взаимно перпендикулярная.

В качестве предварительных усилителей мы использовали малошумящие широкополосные гибридные усилители на биполярных транзисторах [3]. Полное число предварительных усилителей в мишени равно 48. Полная толщина активной части мишени по пучку равна 0.0026 длины ядерного взаимодействия. Мишень и предварительные усилители помещены в контейнер, изготовленный в форме гексагональной призмы, на боковых гранях которой размещены разъемы всех электрических и сигнальных коммутаций. Контейнер ориентирован осью вдоль направления пучка. Торцевые грани контейнера закрыты тонкой светонепроницаемой пленкой.

## Испытания мишени в пучке

### Съем и обработка сигналов

Блок-схема мишени в комплексе с электроникой ее ближайшего окружения и триггерными сцинтилляционными счетчиками показана на рис. 3.

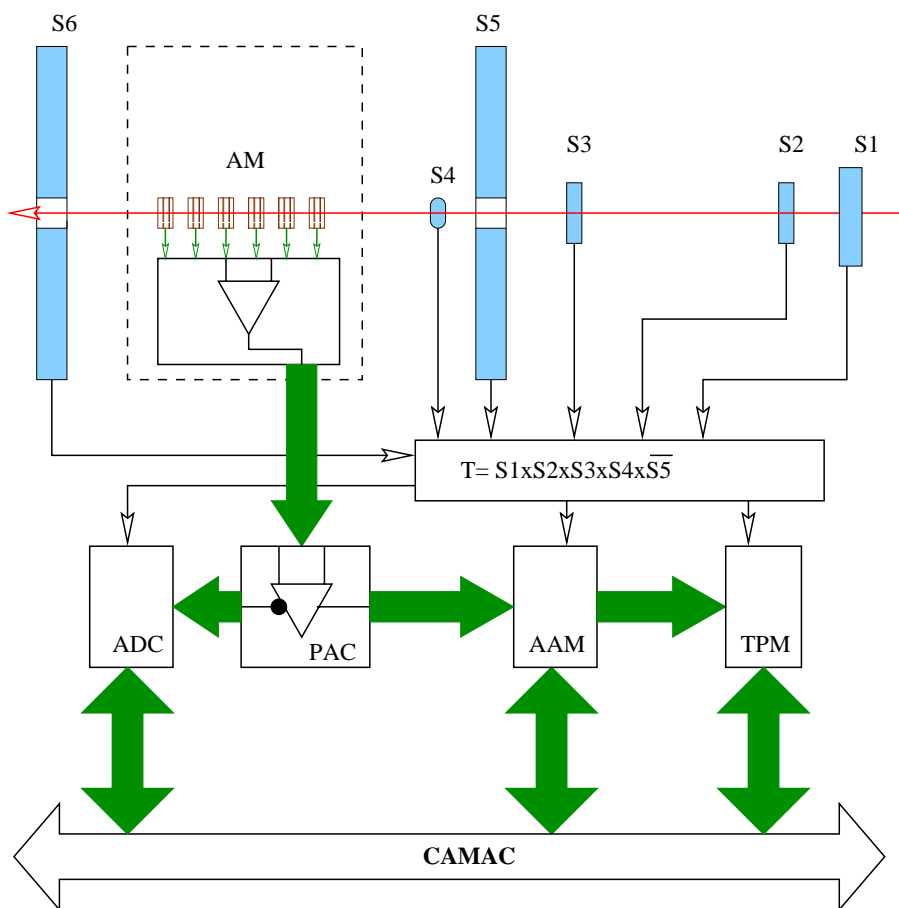


Рис. 3. Блок-схема измерений.

Снимаемые с мишени сигналы, после предварительного усиления, поступают на вход усилителей-разветвителей (блок “РАС”), расположенных на расстоянии 3 м от активной мишени. После усиления сигналы параллельно разветвляются на две группы. Первая группа сигналов поступает на входы АЦП, оцифровывается и записывается для использования в дальнейшем анализе данных. Вторая — поступает на вход блоков “ААМ” (Анализа Активной Мишени). В блоке ААМ сигнал усиливается в два раза и производится сравнение его величины со значением величины порогов, устанавливаемых предварительно программным образом. Величина порогов устанавливается одинаковой для группы из четырех каналов. По результату сравнения на выходе блока генерируется соответствующий заданному порогу цифровой код. По короткому шлейфу код поступает в блок выработки триггерного решения (ТРМ). Решение о принятии либо браковке события принимается по результату сравнения кодов-масок, устанавливаемых в ТРМ программным образом, с кодом, поступившем из ААМ. В случае, удовлетворяющем заданному критерию отбора, вырабатывается триггерный сигнал. Полное время, затрачиваемое на выработку сигнала триггера по этой ветви, составляет  $\sim 150$  нс с момента поступления сигнала в блок ААМ. В мишени предусмотрена возможность подачи мониторинговых тестовых сигналов от внешнего генератора.

Подача тестовых сигналов осуществляется одновременно на группу из восьми предварительных усилителей, принадлежащих одной плоскости (слою) мишени.

## **Триггер**

Схема взаимного расположения триггерных сцинтилляционных счетчиков и мишени в ходе ее экспонирования в пучке показана на рис. 3. Различные комбинации включения сигналов со счетчиков в формирование триггерного сигнала позволяют варьировать в широком диапазоне степень “жесткости” условий выработки триггерного сигнала. Синхронно с оцифровкой сигналов с мишени оцифровывалась и амплитуда отклика в прилегающем к мишени сцинтилляционном счетчике  $S_3$ . Данные об этой амплитуде позволяют вводить дополнительные критерии отбора класса событий при последующем “off-line” анализе.

Запись событий, отобранных по решению блока ТРМ, велась либо с меткой о принятии такого решения, либо непосредственно по заданному решению.

## **Сбор данных**

В ходе измерений была использована система сбора данных, являющаяся подсистемой общей системы сбора данных с установки СВД-2. Сбор данных ведется в многозадачном режиме в операционной среде “Windows”. Модульная структура системы и унифицированный пользовательский интерфейс значительно упрощают ведение контроля за работой различных подсистем установки.

## **Измерение загрузочных характеристик**

В процессе записи данных с мишени были исследованы и ее предельные загрузочные характеристики. Поскольку интенсивности первичного пучка для детального последующего анализа загрузочных характеристик было явно недостаточно, мы использовали имитацию высокой пучковой загрузки дополнительной подачей цуга импульсов на тестовый вход предварительных усилителей одной из плоскостей мишени от внешнего генератора.

При этом длительность цуга несколько превышала длительность сброса пучка в цикле ускорителя. Амплитуда подаваемого тестового сигнала в каждом канале плоскости соответствовала величине наиболее вероятного значения сигнала от прохождения одной частицы через стрип мишени. Полное число импульсов в цуге варьировалось в широких пределах изменением частоты генератора. Номер импульса в цуге считался счетчиком, состояние счетчика считывалось синхронно с событием от пучкового триггера.

## Обработка результатов измерений

### Аппроксимация амплитудного распределения

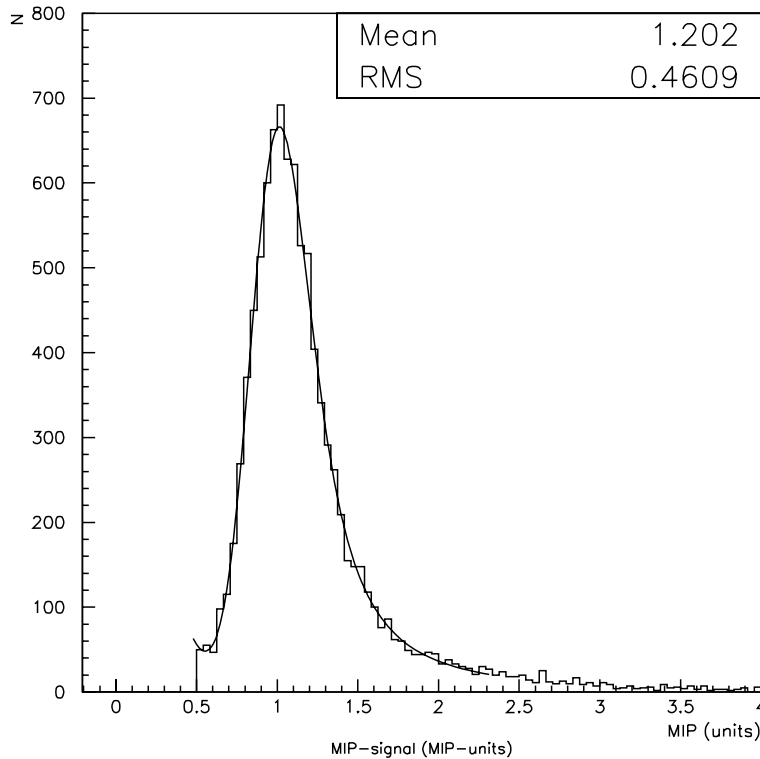


Рис. 4. Амплитудное распределение одночастичных треков.

Обработка результатов измерений велась по схеме, подобной использовавшейся нами ранее в работе [2]. Отличие состоит в том, что, вследствие поперечной сегментации мишени, в каждом событии наряду с сигналами от прохождения частицы, зарегистрированными в отдельных стрипах слоя мишени, присутствуют каналы, в которых в данном событии было считано лишь пьедестальное значение. Поэтому распределение амплитуды сигналов, снимаемых с каждого отдельного стрипа, имеет двугорбую структуру и состоит из симметричного пьедестального распределения и отстоящего от него асимметричного сигнального пика. В ходе обработки сигналы в каждом канале мишени переводились из шкалы отсчетов АЦП в шкалу “числа частиц”, где единицей являлось наиболее вероятное значение сигнала, зарегистрированное в данном стрипе мишени при прохождении через него одной частицы. То есть для каждого канала мишени вначале определялись величина



и дисперсия пьедестального значения, затем — величина наиболее вероятного значения одночастичного сигнала. Аппроксимация распределения пьедестального сигнала проводилась нормальным распределением. Так же, как и в [2], распределение одночастичных событий аппроксимировалось сверткой распределений Ландау и Гаусса:

$$F(x) = \int L(x + y) * G(y) dy,$$

где  $L(x+y)$  — параметризованное распределение Ландау, описывающее флуктуации ионизационных потерь в слое мишени;  $G(y)$  — нормальное распределение, дисперсия которого характеризует шумовой вклад электронного тракта системы. На рис. 4 приведена типичная гистограмма амплитуд одночастичных треков, зарегистрированных в мишени (в шкале “числа частиц”). Сплошной линией проведена аппроксимирующая функция.

### Вклад шума

Усредненная по всем каналам мишени величина отношения **сигнал/шум** иллюстрируется распределением, приведенным на рис. 5. Дисперсия пьедестальных значений гистограммирована на рис. 6.

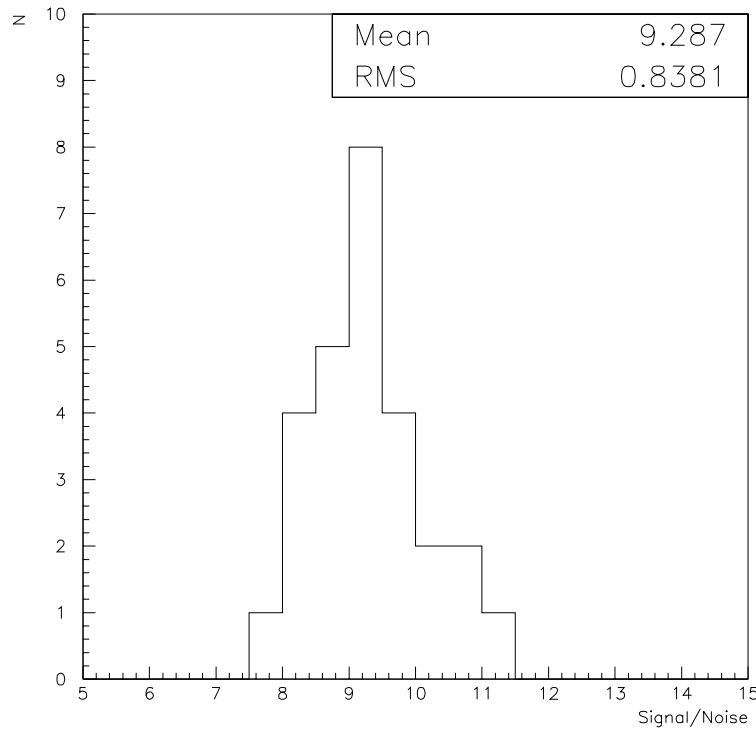


Рис. 5. Поканальное распределение величины отношения сигнал/шум.

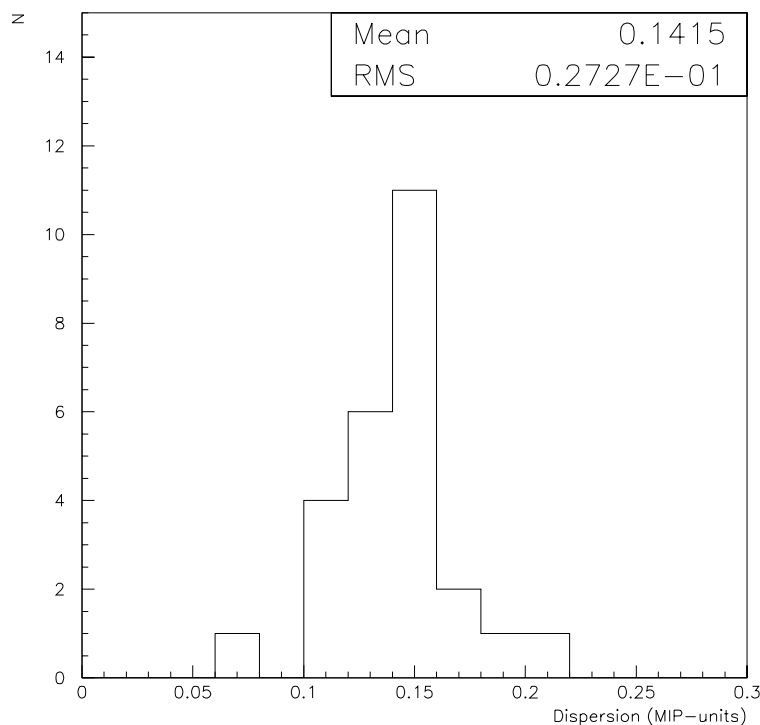


Рис. 6. Дисперсия пьедестальных значений.

Сравнивая дисперсии шумового вклада ( $RMS_{PED} = 0.1415$ ) и сигнала ( $RMS_{СИГНАЛ} = 0.4609$ ), можно видеть, что основной вклад в дисперсию амплитуды сигнала вносит флуктуация ионизационных потерь вдоль трека частиц. Следовательно, наблюдаемое в наших измерениях отношение **сигнал/шум**  $\simeq 9$ , удовлетворяет условиям задачи.

### Эффекты загрузки

На рис. 7 последовательно представлены амплитудные распределения (в отсчетах АЦП) откликов одной из плоскостей мишени на прохождение пучковых частиц.

При этом, асинхронно с триггером, на период сброса, на тестовый вход усилителей плоскости подавался сигнал от генератора. Эквивалентный уровень подаваемого сигнала соответствовал прохождению одной частицы через стрип мишени, частота подаваемого сигнала варьировалась от  $10^3$  до  $5 \times 10^6$  Гц. При этом собственная пучковая загрузка мишени не превышала  $10^5 \frac{\text{частиц}}{\text{канал}}$ . Сравнивая амплитудные распределения, соответствующие имитации дополнительной загрузки  $10^3$  Гц (гистограмма показана сплошной линией) и более высоких уровней (показана пунктиром), можно видеть, как с ростом частоты начинают “расплываться” и смещаться пьедестальные (левый пик) и сигнальные значения. Оценка показывает, что искажение начинает проявляться при имитации загрузки на уровне  $5 \times 10^4$  Гц.

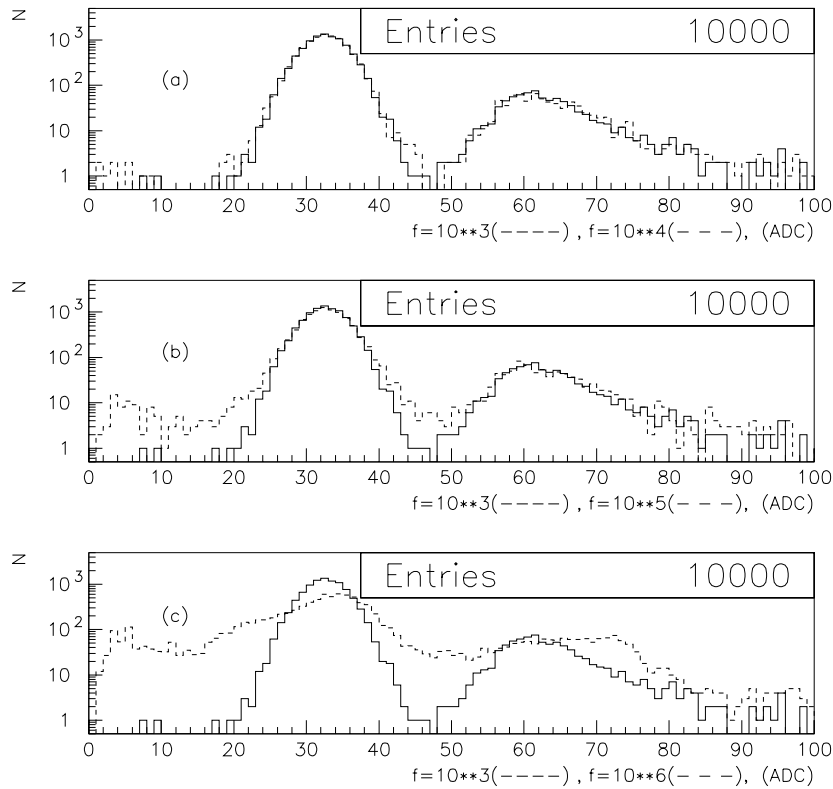


Рис. 7. Амплитудные распределения сигналов в одной из плоскостей мишени при прохождении пучковых частиц: (a) — имитация дополнительной загрузки  $10^4$  Гц, (b) —  $10^5$  Гц, (c) —  $10^6$  Гц.

### Включение мишени в триггер

Влияние включения информации, снимаемой с мишени, в триггер иллюстрируется рис. 8. На верхней паре гистограмм приведены распределения амплитуды (в шкале “числа частиц”) в стрипах третьей (по ходу пучка) плоскости мишени в отсутствие каких-либо ограничений на уровни сигналов. Средняя пара гистограмм получена при наложении условия (блоком ТРМ): **“в четвертой плоскости есть сигнал, превышающий ионизацию от двух минимально ионизирующих частиц”**.

Нижние гистограммы соответствуют условию: **“в пятой плоскости есть сигнал, превышающий ионизацию от трех минимально ионизирующих частиц”**. Правая колонка гистограмм показывает нарастание числа неупругих взаимодействий в мишени в результате наложения условий. Сплошной прямой проведена условная граница между ионизационными потерями проходящей частицы и вкладом от неупругих событий (на всех гистограммах тангенс наклона один и тот же). Можно видеть заметное обогащение вклада неупругих событий в результате включения в триггер информации с активной мишени.

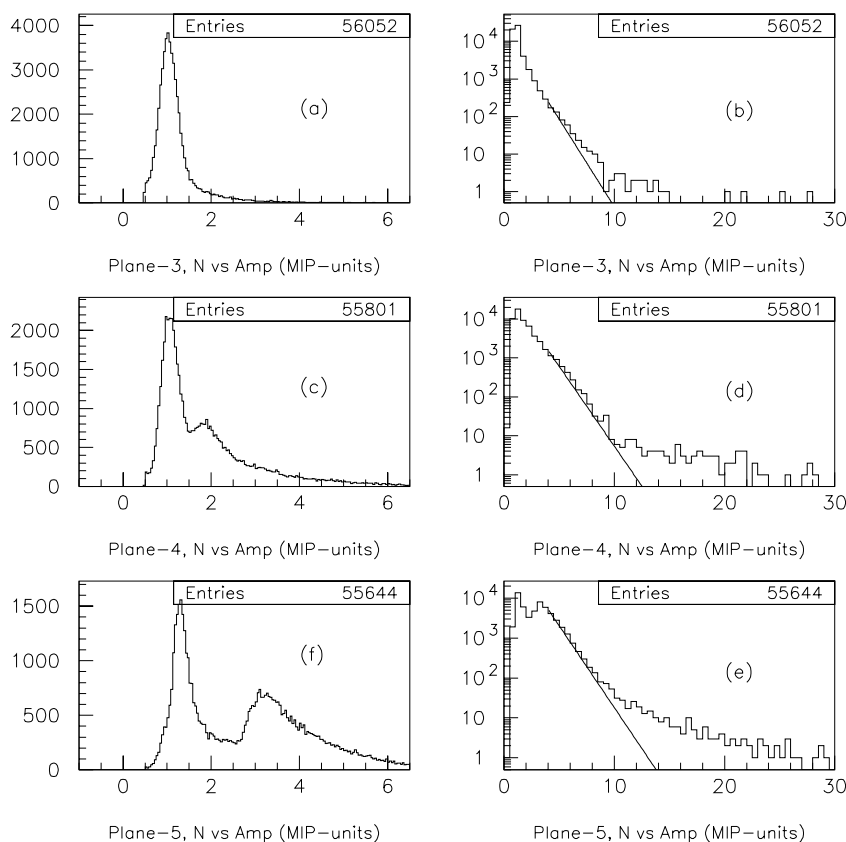


Рис. 8. Амплитудные распределения в стрипах третьей плоскости мишени: (a) — блок ТРМ не участвует в выработке триггера; (b) — блоком ТРМ наложено условие: “в четвертой плоскости есть сигнал превышающий ионизацию от двух минимально ионизирующих частиц”; (c) — блоком ТРМ наложено условие: “в пятой плоскости есть сигнал, превышающий ионизацию от трех минимально ионизирующих частиц”.

### Основные результаты и выводы

- Разработан, изготовлен и испытан вариант полупроводниковой активной мишени, отвечающий условиям эксперимента СВД-2.
- Использование оригинального способа крепления кристалла мишени и разводки сигнальных коммутаций позволили свести к минимуму наличие паразитного вещества, непосредственно прилегающего к кристаллу мишени.
- Успешно испытана и хорошо зарекомендовала себя специально написанная для установки СВД-2 система сбора данных.
- Испытаны в комплексе все специализированные электронные модули ближайшего окружения мишени. Отмеченные в ходе испытаний слабые звенья устранены в окончательной версии модулей.
- Показано, что включение снимаемой с мишени информации позволяет заметно обогатить выборку неупругих взаимодействий на этапе выработки триггера 1-го уровня.

## Заключение

Авторы благодарны профессору П.Ф. Ермолову за постоянный интерес и всемерную поддержку настоящей работы.

## Список литературы

- [1] Ardashev E.N. et al. Preprint ИИЕР 96-98, Протвино, 1996.
- [2] Воробьев А.П. и др. Препринт ИФВЭ 97-10, Протвино, 1997.
- [3] Краснокутский Р.Н. и др. Препринт ИФВЭ 89-231, Протвино, 1989.

*Рукопись поступила 27 июля 2001 г.*

Е.Н. Ардашев и др.  
Прототип активной мишени установки СВД-2.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.  
Редактор Л.Ф. Васильева. Технический редактор Н.В. Орлова.

---

Подписано к печати 01.08.01. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.  
Печ.л. 1,37. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 130. Заказ 125. Индекс 3649.  
ЛР №020498 17.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий  
142284, Протвино Московской обл.

