

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-101

P13-95-101

С.В.Афанасьев

ВРЕМЯПРОЛЕТНАЯ СИСТЕМА  
БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ

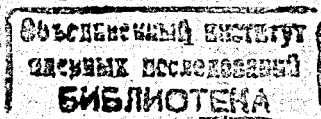
Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1995

Времяпролетная система (TOF) была разработана и создана для идентификации вторичных частиц по разнице их скоростей. TOF-система создана в рамках проекта СФЕРА [1] для оснащения переднего спектрометра установки. В ее состав входит стартовый счетчик  $S_1$ , расположенный в непосредственной близости от мишени, и 22-элементный сцинтилляционный годоскоп  $H_{11}$ . Расстояние между ними около 15 м (может варьироваться в зависимости от решаемой задачи).  $H_{11}$  используется как для получения временной отметки, так и для амплитудного анализа.

## Описание детекторов

Основу TOF-системы составляет сцинтилляционный годоскоп (рис.1). Он состоит из 22 независимых счетчиков суммарной площадью 4 м<sup>2</sup>. Для уменьшения геометрической неэффективности сцинтилляторы установлены с 5-мм перекрытием относительно друг друга. Для использования годоскопа в триггере все детекторы установлены вертикально. Все 22 элемента одинаковые и представляют собой сцинтиллятор длиной 2,5 м и 100x10 мм в сечении, просматриваемый с двух концов фотоэлектронными умножителями (ФЭУ) (рис.2). В качестве сцинтиллирующего вещества был использован пластмассовый сцинтиллятор на основе полистирола с добавлением 1,5% р-терфенила и 0,01% РОРОР [2], изготовленный в Лаборатории высоких энергий (ЛВЭ) ОИЯИ. Полосы были отлиты из блочного полистирольного сцинтиллятора методом экструдирования из расплава [3]. Это позволило изготовить монолитные пластины необходимой длины. Разброс их толщин при экструдировании не превышал 10%. Параметры изготовленных полос, а именно длина затухания в них, были промерены токовым методом [3]. Средняя длина затухания света  $L$  для всех полос получилась равной  $125 \pm 5$  см (рис.3, сплошная линия). Из всей партии было отобрано 26 образцов со средней длиной затухания света  $L=135 \pm 5$  см (штриховая линия). Оба конца этих пластин далее были сформованы в виде световодов (рис.4) термическим методом [4]. Формирование световода непосредственно из самого сцинтиллятора позволяет, с одной стороны, повысить механическую прочность счетчика, его надежность и долговечность, а с другой стороны, избежать потерь света в месте соединения сцинтиллятора и световода. Как показали дальнейшие исследования, такая конструкция улучшает светосбор на 30% по отношению к первичной пластине. На рис.5 для сравнения приведены распределения амплитуд для одной и той же пластины до формирования световода и после. Место перехода сцинтиллятора в световод из-за вертикального расположения детекторов не попадает в аксептанс спектрометра и не оказывает влияния на работу системы из-за своей неоднородности.



После формования сцинтилляторы обрезались по размеру, а торцы полировались. По окончании механических работ они оборачивались алюминизированным майларом и двумя слоями черной бумаги для светоизоляции. Места крепления кожухов ФЭУ на световоде дополнительно обматывались черной изоляционной лентой.

## ФЭУ и делитель

В качестве светоприемника для TOF-системы был использован фотоэлектронный умножитель ФЭУ-30 [5]. Он обладает подходящими размерами и хорошими временными и амплитудными свойствами.

Как неоднократно отмечалось [6-7], вклад ФЭУ во временное разрешение детектора составляет около 30%. Поэтому оптимизации его работы было уделено особое внимание. Временное разрешение ФЭУ зависит в основном от разброса времени пролета электронами от фотокатода до первого динода. Определяющими факторами здесь являются различие начальных скоростей и длин траекторий электронов. Влияние первого фактора можно уменьшить, увеличивая напряженность поля у фотокатода. С этой целью сопротивление в цепи делителя (рис.6) между фотокатодом и первым динодом было увеличено до  $6R_0$ , где  $R_0$  - сопротивление постоянной части делителя, указанное в паспорте ФЭУ. В результате этого временное разрешение ФЭУ улучшилось на 30%. Дальнейшее повышение потенциала приводит к возникновению электрического пробоя внутри колбы ФЭУ и не может быть использовано.

Для минимизации вклада второго фактора был осуществлен индивидуальный подбор делителей для каждого ФЭУ. Он проводился в два этапа, аналогично описанному в [8]. Вначале распределение потенциалов между фотокатодом и первым динодом (при фиксированных потенциалах в остальной части делителя) подбиралось так, чтобы обеспечить максимальную амплитуду импульса тока ФЭУ при минимальной длительности. Для этого использовался делитель из переменных сопротивлений, генератор наносекундных световых импульсов и осциллограф с полосой пропускания 100 МГц. Затем проводился окончательный выбор оптимального делителя ФЭУ по минимальному временному разрешению. Для этих целей использовались дополнительно время-цифровой преобразователь (ВЦП), считываемый по линии КАМАК персональной ЭВМ. Как показали исследования, наиболее критичным является распределение потенциалов между фотокатодом ( $U_{pk}$ ), первым фокусирующим электродом ( $U_{f1}$ ) и первым динодом ( $U_d$ ). На рис.7 приведена типичная зависимость временных и амплитудных свойств ФЭУ-30 от отношения потенциалов. Подобные свойства являются характерными

для многих типов ФЭУ [9]. Минимум распределения очень узок, и его положение оказалось индивидуально для каждого экземпляра ФЭУ. В среднем оно колеблется около величины  $(U_{f1} - U_d)/(U_{pk} - U_d) = 0,85$ . Влияние потенциала второго фокусирующего электрода ( $U_{f2}$ ) не велико и постоянно. При оптимальной настройке он равен  $(U_{f2} - U_d)/(U_{pk} - U_d) = 0,06$ .

Снятие характеристик части ФЭУ показало, что их параметры зависят от световой чувствительности ( $I_{св}$ ), приводимой в паспорте ФЭУ. Как видно из рис.8, лучшие свойства имеют ФЭУ с большей величиной  $I_{св}$ , что позволило провести предварительный отбор, пользуясь паспортными данными. Из прошедших испытания ФЭУ было отобрано 50 лучших с временным разрешением не превышающим 200 пс.

Для повышения нагрузочной способности счетчиков и для расширения динамического диапазона ФЭУ последние 4 динода запитывались от индивидуальных источников питания  $U_1 - U_4$ . И, кроме того, 8 динодов дополнительно шунтировались керамическими конденсаторами  $C_2 - C_9$ . Такая схема питания позволила расширить динамический диапазон выходного сигнала до 20 мА и увеличить рабочую частоту до 50 МГц. Съем сигнала осуществлялся с анода ФЭУ, нагруженного на 50-омное сопротивление.

Для дистанционного регулирования напряжения на каждом ФЭУ в цепь делителя включен оптоэлектронный блок, собранный на транзисторах  $T_1, T_2$ . На основе транзистора  $T_2$  собирался оптрон. В корпусе  $T_2$  было просверлено отверстие, в которое на изоляторе вставлялась миниатюрная лампа накаливания  $L_1$ . Собранный блок обеспечивает регулировку напряжения на фотокатод ФЭУ в пределах 200 В. Контроль за напряжением осуществляется через высоковольтный делитель ( $R_{27} - R_{29}$ ), подключенный к 4-му диноду.

## Светодиодная система калибровки

Основная проблема, связанная с эксплуатацией многоканального детектора - это изменение во времени характеристик отдельных элементов, определяемое рядом факторов. Существуют различные способы контроля таких приборов [10-12]. В описываемой конструкции была реализована система калибровки (СК) на основе светодиодов. Несмотря на относительную дешевизну она обладает удовлетворительными параметрами и обеспечивает необходимый контроль.

Система состоит из задающего генератора, высоковольтного преобразователя сигналов (ПС) и светодиодов с подводными кабелями. Задающий генератор установлен вблизи пульта управления, а все остальное смонтировано непосредственно на ферме годоскопа. Светодиоды расположены на

световодах каждого скintиллятора в 2 см от фотокатода. В качестве светозлучающих диодов были использованы серийно выпускаемые промышленностью АЛ307ГМ, имеющие максимальную яркость в зеленой области спектра. Они включены в обратном направлении и работают в режиме восстанавливающегося пробоя. Такой режим работы позволяет получить стабильный световой импульс как по времени, так и по амплитуде. Количество излучаемого светодиодами света определяется амплитудой и длительностью запускающего их импульса. Поэтому стабильности этих параметров уделялось особое внимание. Каждый преобразователь запускает 8 диодов, включенных параллельно (рис.9). Все соединения выполнены коаксиальным кабелем РК-50. Согласование линии осуществлялось при помощи отрезков кабеля и переменных сопротивлений. Типичный временной и амплитудный спектры, полученные во время тестирования, представлены на рис.10а и рис.10б соответственно. Временное разрешение при этом не превышает 400 пс, а амплитудное - 10%. Таким образом, реализованная на годоскопе светодиодная система мониторинга позволяет контролировать параметры счетчиков на уровне не хуже 1%. Что вполне достаточно для успешной работы всей системы.

## Тестирование

Перед конструкторской разработкой полномасштабного годоскопа было проведено тестирование прототипа детектора в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Исследуемый счетчик помещался между двумя скintилляционными мониторами  $M_1$  и  $M_2$  размерами 5x30x30 мм и 40x40x5 мм соответственно. Сигналы с  $M_1$ ,  $M_2$  и двух ФЭУ тестируемого детектора после формирователей подавались на общую схему совпадений (СС). Срабатывание последней являлось сигналом запуска времяцифровых (ВЦП) и амплитудно-цифровых (АЦП) преобразователей. СС настраивалась таким образом, что выходной импульс был синхронизован с импульсом на входе от  $M_1$ . Схема подключения детектора была аналогична представленной на рис.2.

Временные свойства прототипа были измерены на пучке релятивистских дейтронов синхрофазотрона при импульсе  $P=6$  ГэВ/с. Вследствие высокой степени однородности по импульсу время пролета  $T$  для всех частиц пучка практически постоянно и не дает вклад во временное разрешение. Время пролета, фиксируемое длинным скintиллятором, определялось стандартным образом [13]:

$$T = (T_u + T_d)/2 + C; \quad (1)$$

где  $T_u, T_d$  - время прихода сигнала с разных концов детектора,  
 $C$  - постоянная величина, включающая время распространения сигнала вдоль всего скintиллятора и кабеля.

При этом временная зависимость от координаты полностью исключается. Восстановленный таким способом временной спектр представлен на рис.11. Его параметры зависят от трех компонент:

$$t^2 = 4t_m^2 + t_u^2 + t_d^2 = 4t_m^2 + t_s^2, \quad (2)$$

где  $t$  - измеренная величина;

$t_m$  - временное разрешение стартового счетчика;

$t_s$  - собственное временное разрешение детектора;

$t_u, t_d$  - временное разрешение для верхней и нижней частей.

Таким образом, проведя вычитание вклада от мониторингового счетчика [14], можно определить временные свойства. Такая процедура была проведена, и результат представлен на рис.12. Минимальное в центре временное разрешение (320 пс) увеличивается к краям до 480 пс. Это связано с тем, что с увеличением расстояния от ФЭУ до места скintилляции увеличивается затухание света. И временные параметры сигнала с более дальнего ФЭУ являются доминирующими. Среднее суммарное временное разрешение получилось равным 400 пс с разбросом по длине  $\pm 20\%$ .

Амплитудные параметры детектора оказались не столь критичны к координате. Суммарная амплитуда  $A$ , представленная как

$$A = (A_u + A_d)/2, \quad (3)$$

где  $A_u, A_d$  - амплитуда сигнала для верхней и нижней части соответственно, имеет практически постоянное значение. Нелинейность не превышает 5% (рис.13). При этом амплитудное разрешение (рис.14), равное 35% в центре, улучшается к краям до 30% и в среднем равно 32%. Такие параметры являются типичными для скintилляционных счетчиков и позволяют использовать описываемый детектор не только для временного, но и для амплитудного анализа.

## Работа в эксперименте

Описываемый ТОФ-годоскоп использовался в эксперименте коллаборации АЛЬФА по определению тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  [15]. Снимаемые с него сигналы были использованы для разделения протонов и дейтронов по времени пролета. На пролетной базе 80 м было получено

разделение дейтронов и протонов на уровне пяти стандартных отклонений (рис.15).

Предварительно была проведена калибровка детектора на дейтронах с импульсом 7,5 ГэВ/с. Монохроматичным пучком проводилось сканирование в горизонтальном направлении элементов годоскопа. Ось пучка проходила по центру сцинтиллятора. Измерения показали высокую степень однородности детекторов по временным параметрам. Разброс между отдельными счетчиками в среднем не превышал  $\pm 2\%$ .

### Заклучение

Разработан, исследован и изготовлен сцинтилляционный годоскоп, позволяющий проводить как временной, так и амплитудный анализ. Его временное разрешение составляет  $400 \text{ пс} \pm 20\%$ , а амплитудное -  $32 \pm 2\%$ . В целом вся система имеет высокую степень однородности (на уровне 2%) и стабильна. Детектор был использован при измерении  $T_{20}$  в сеансе с поляризованными дейтронами и позволил надежно отделять протоны от сопутствующих дейтронов.

В заключение считаю своим долгом поблагодарить сотрудников коллабораций СФЕРА и АЛЬФА за помощь, оказанную в процессе изготовления и испытания детектора.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, тема 93-02-3773.

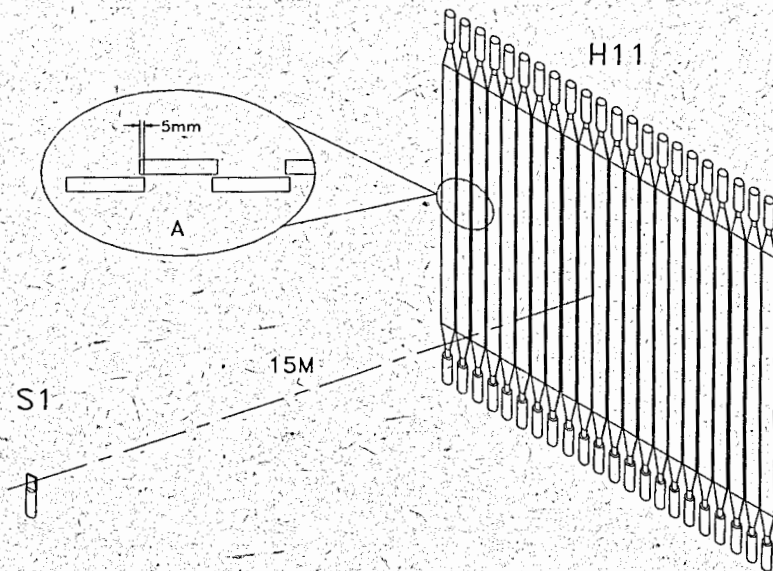


Рис.1. Общий вид сцинтилляционного годоскопа

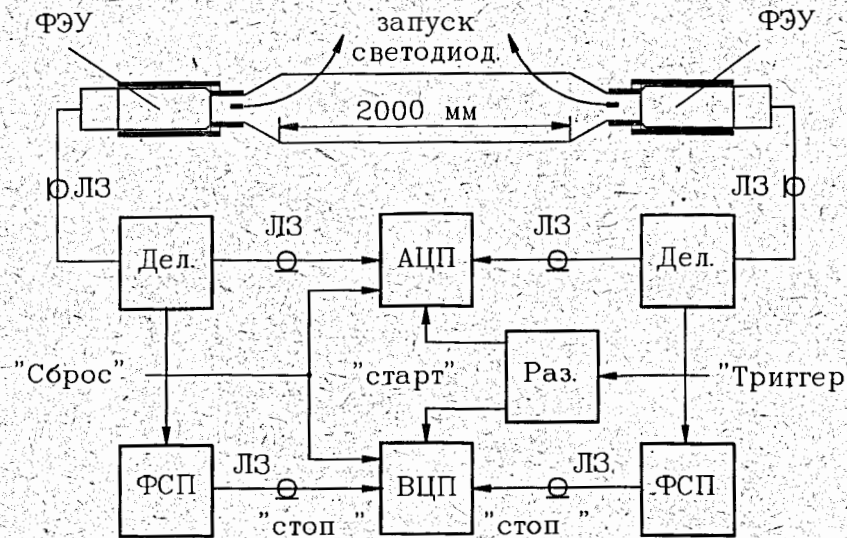


Рис.2. Конструкция одного элемента и обслуживающая его электроника

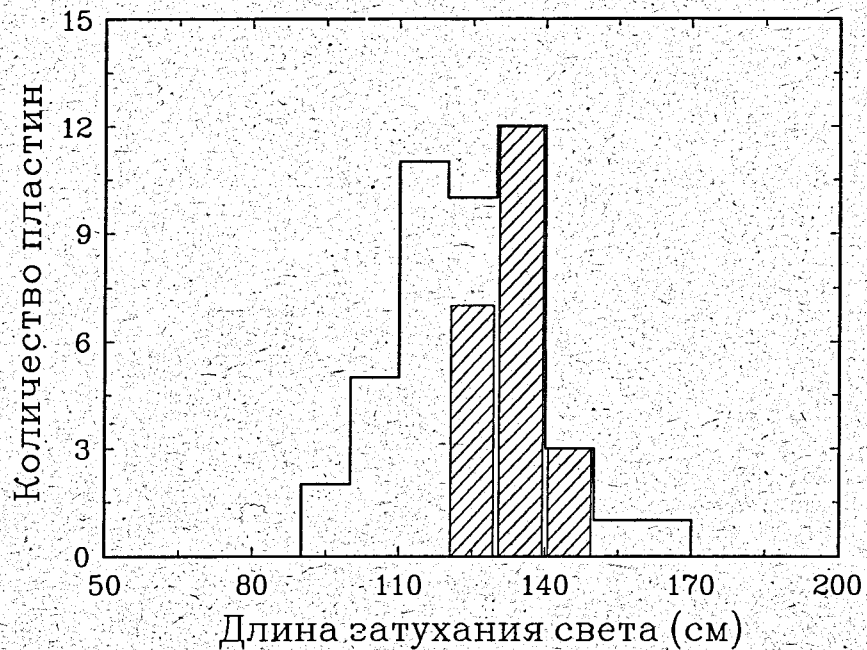


Рис.3. Распределение длин затухания света в сцинтиляторе для промеренных образцов. Штриховая линия - отобранные для использования полосы

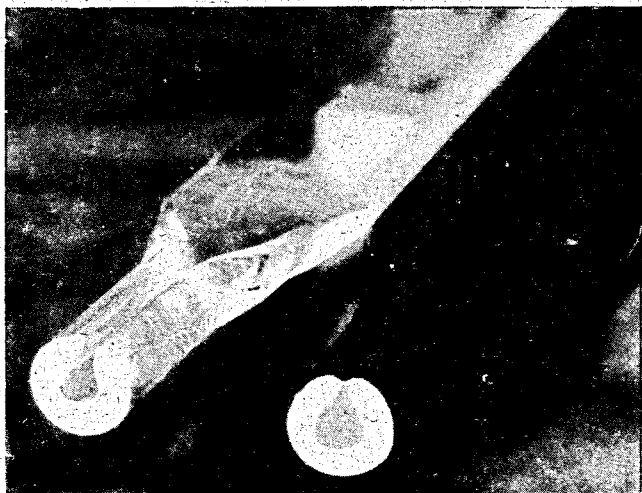


Рис.4. Внешний вид сформованного конца сцинтилятора. Слева - до обораживания бумагой и майларом, справа - после

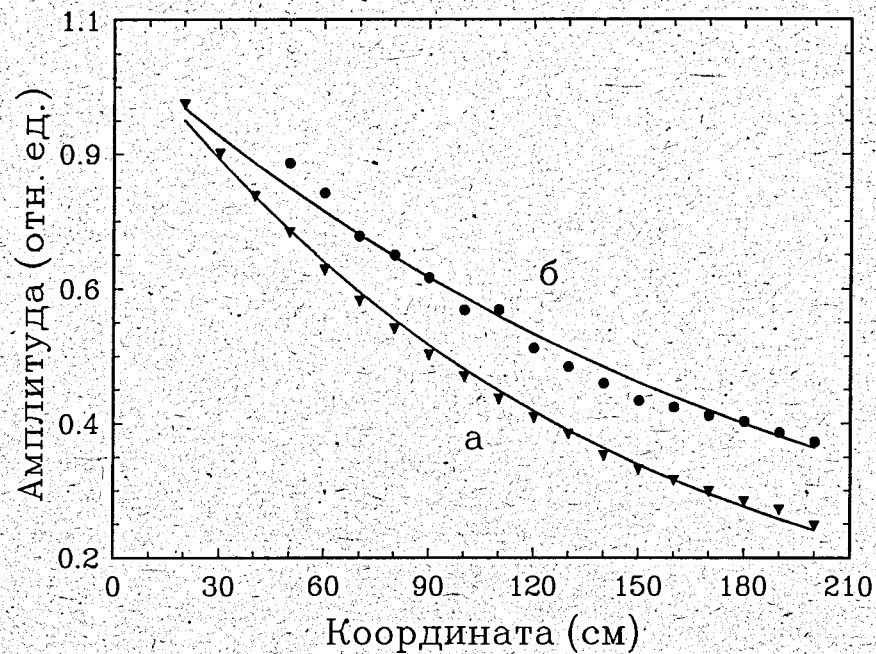


Рис.5. Зависимость средней амплитуды сигнала от координаты: а - до формирования световода; б - со световодом

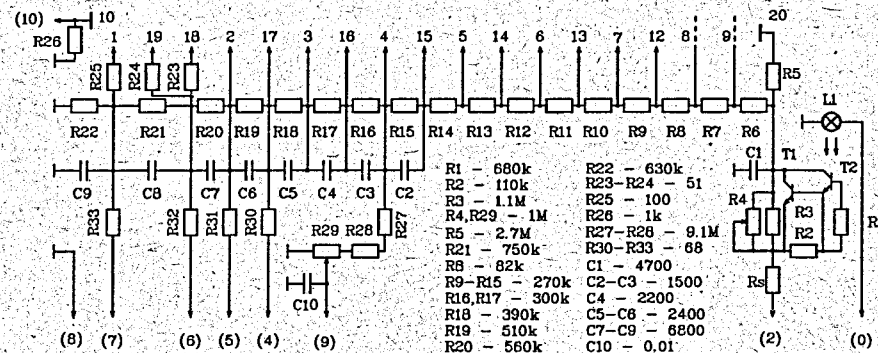


Рис.6. Принципиальная схема высоковольтного делителя питания ФЭУ

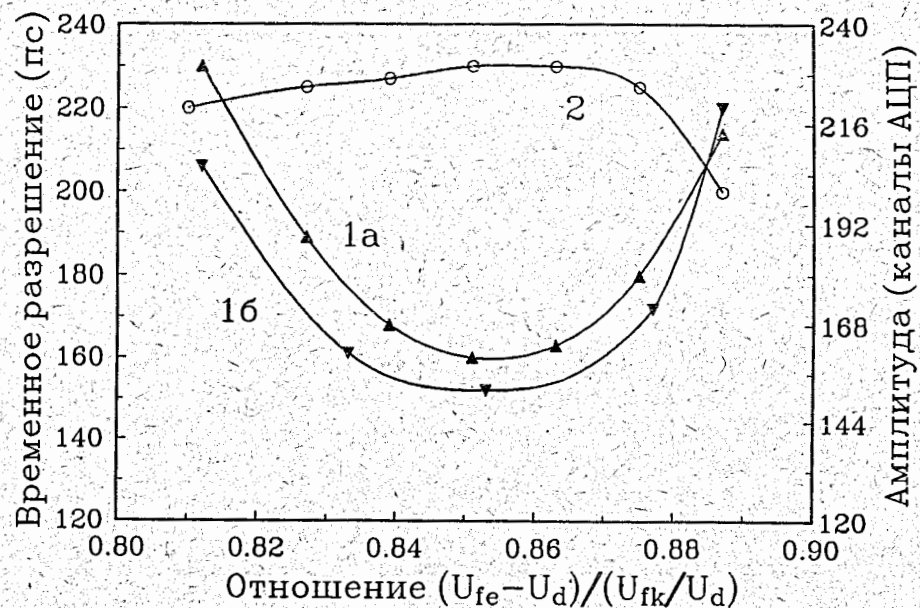


Рис.7. Зависимость временных (1а и 16) и амплитудных (2) характеристик ФЭУ-30 от отношения разности потенциалов первого фокусирующего электрода и первого диода ( $U_{fe} - U_d$ ) к разности потенциалов между фотокатодом и первым диодом ( $U_{fk} - U_d$ )

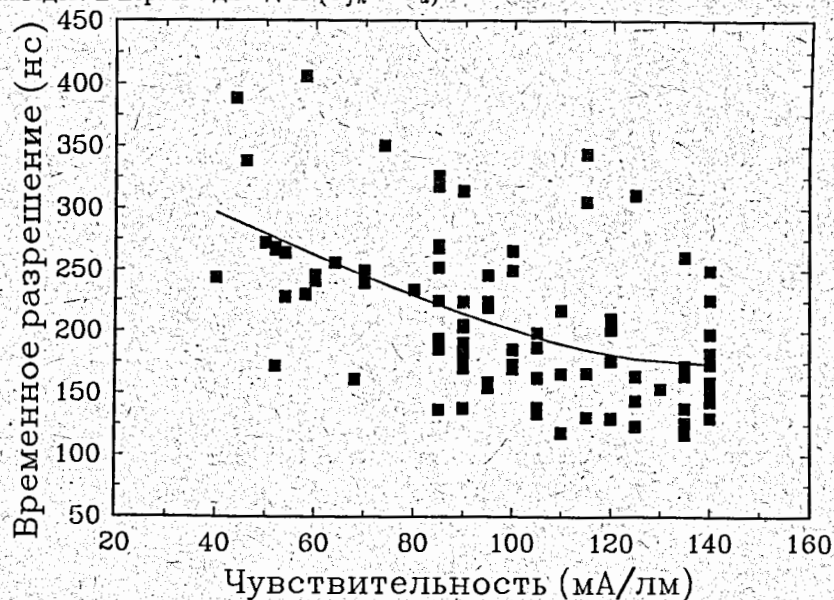


Рис.8. Зависимость временных параметров ФЭУ-30 от световой чувствительности фотокатода  $I_{св}$

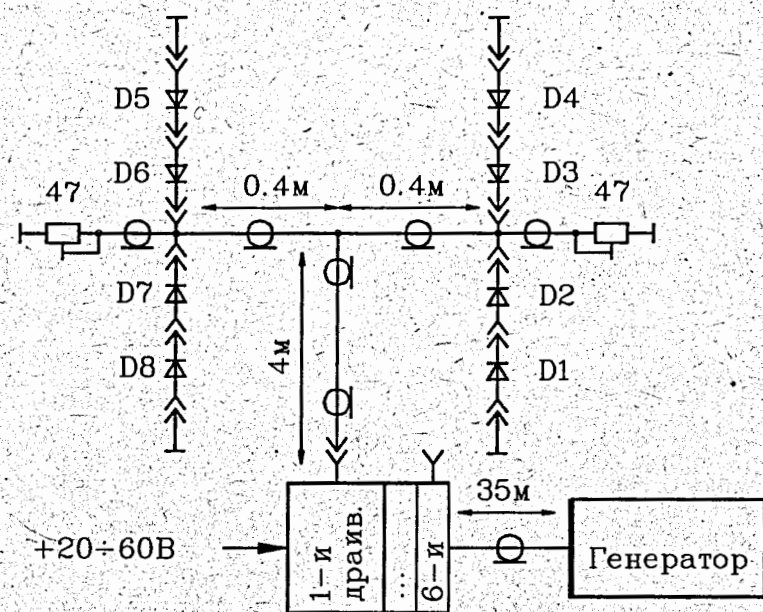


Рис.9. Схема светодиодной системы контроля параметров детектора.

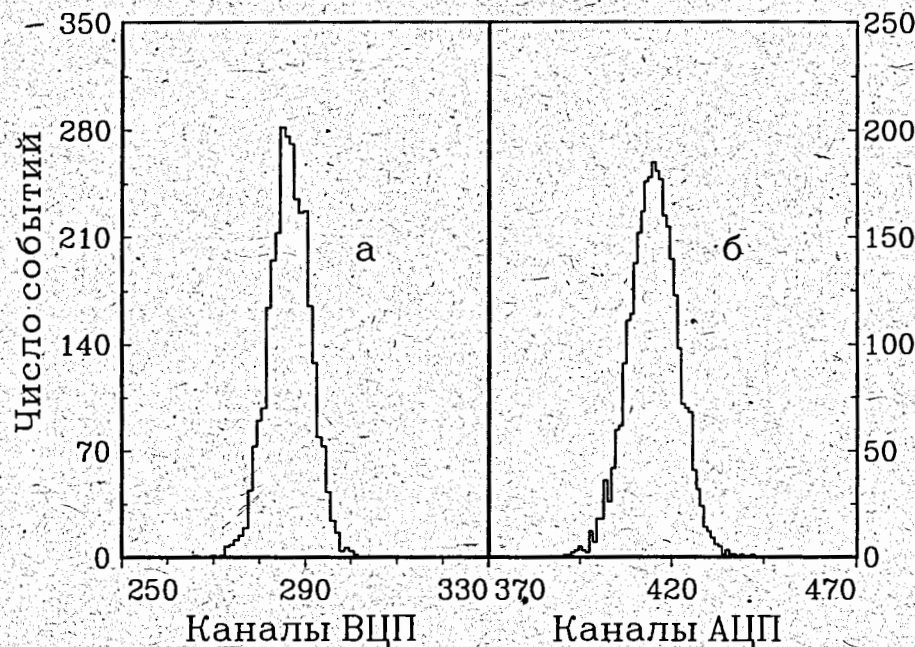


Рис.10. Типичные амплитудная (а) и временная (б) характеристики сигналов во время работы светодиодов

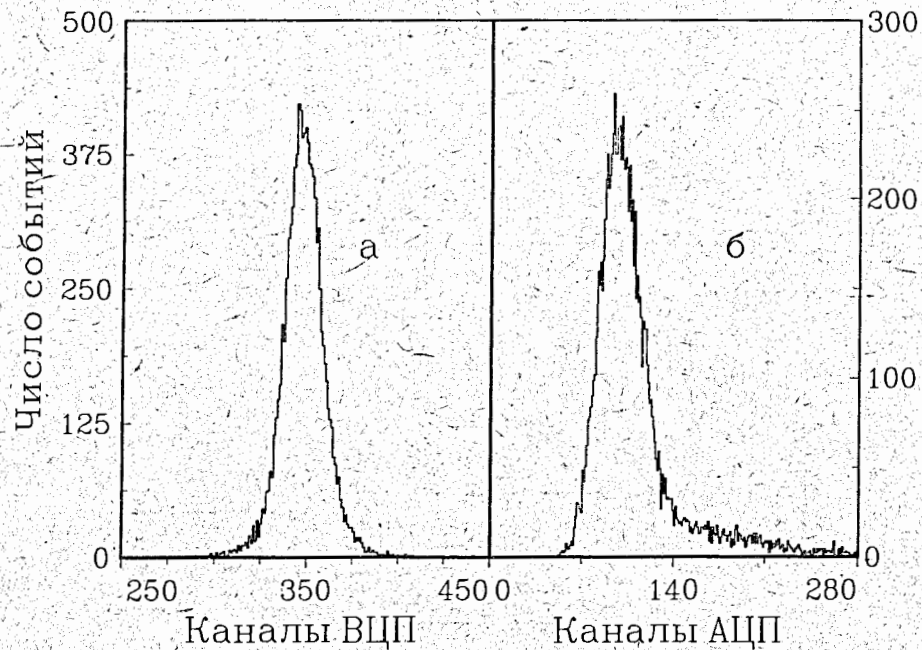


Рис.11. Временное распределение сигналов, полученное во время испытаний счетчика на пучке дейтронов

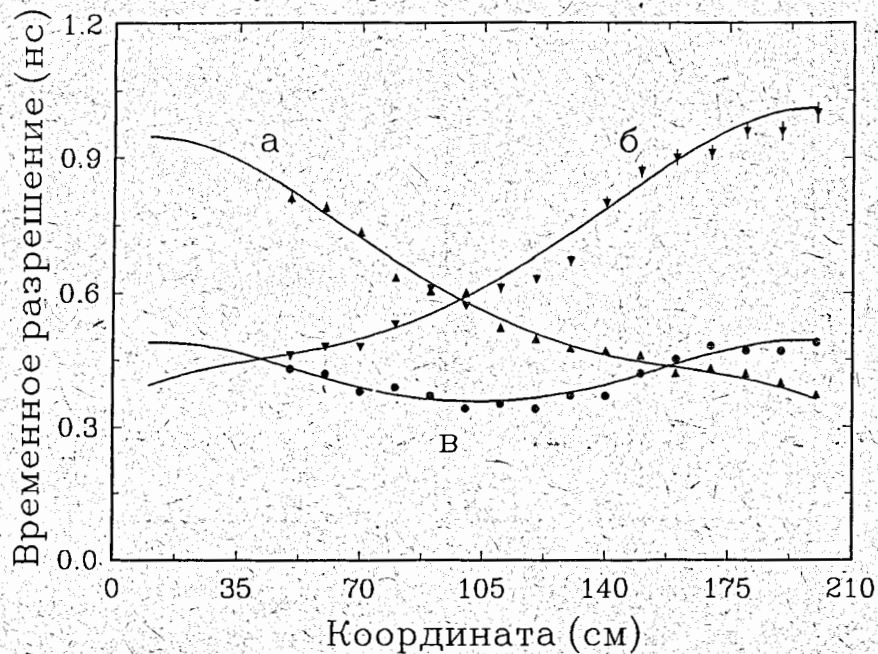


Рис.12. Зависимость временного разрешения от места сцинтилляции.

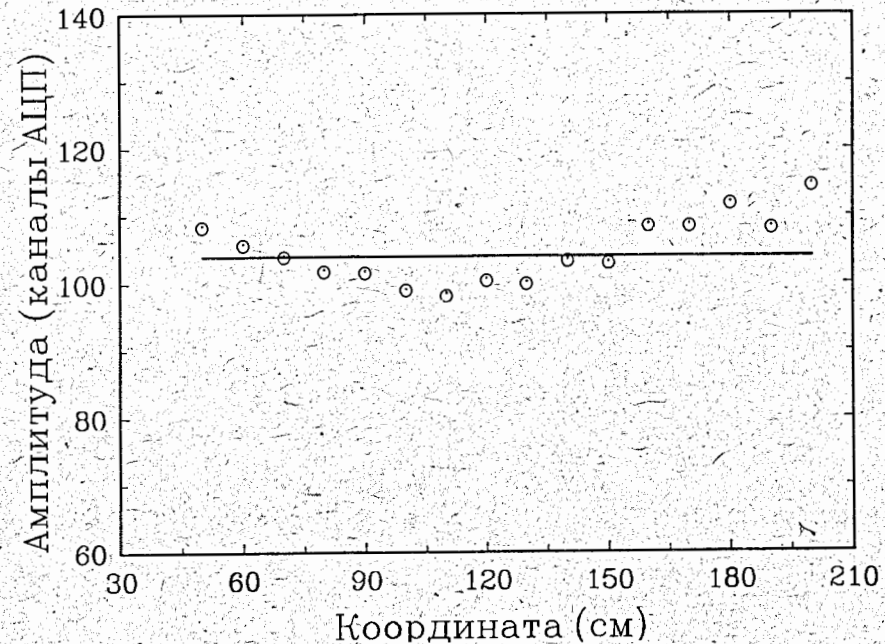


Рис.13. Средняя величина суммарной амплитуды как функция координаты сцинтилляции

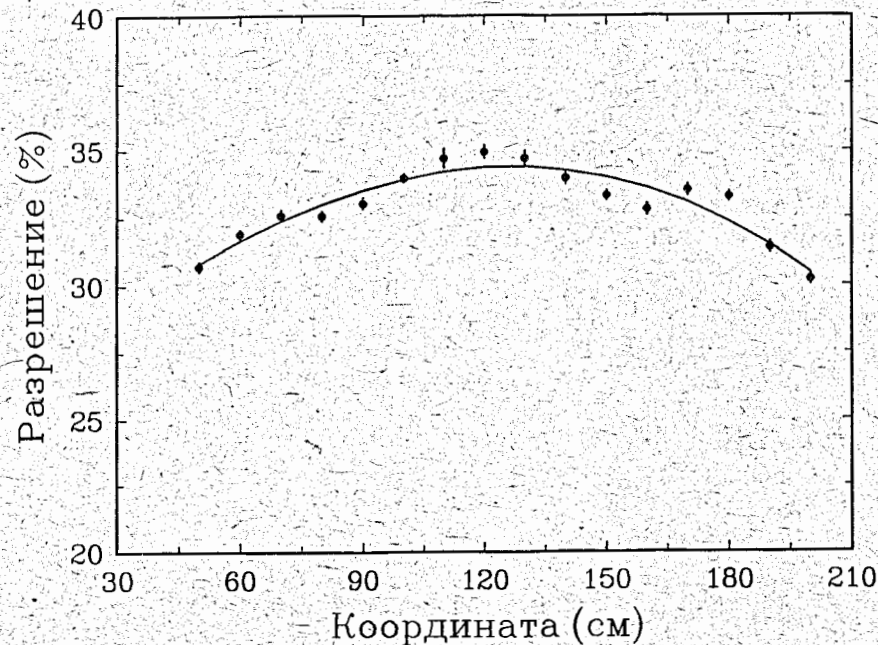


Рис.14. Зависимость амплитудного разрешения детектора от координаты



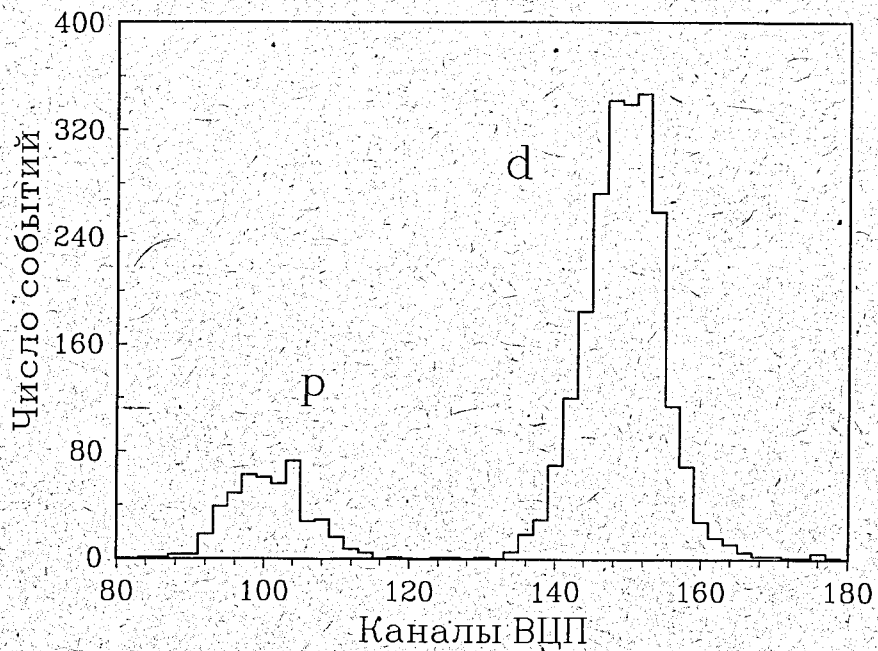


Рис.15. Разделение протонов и дейтронов по времени пролета при импульсе 7,5 ГэВ/с

## Литература

1. Ю.С.Анисимов, С.В.Афанасьев, В.К.Бондарев и др. Краткие сообщения ОИЯИ N° 5[51]-91, Дубна, 1991.
2. E.N.Metveeva, Yu.A.Panebratsev, S.V.Rikhvitsky, V.S.Stavinsky, L.Ya.Zhil'tsova. Nucl. Instr. and Meth. 179 (1981) p.277.
3. В.А.Гапиенко, И.Г.Голутвина, А.Г.Денисов и др. ПТЭ, 1990, N° 4, с.60
4. В.В.Аммосов, В.А.Гапиенко, А.Е.Денисов, Е.А.Мельников. ПТЭ, 1990, N° 6, с.54.
5. М.Д.Аксиненко, М.Л.Бараночников. Приемники оптического излучения. М.: Радио и связь, 1987.
6. M.Voszynski, B.Bengtson. Nucl. Instr. and Meth. 158 (1979) p.1.
7. Per.J.Carlson. Physica Scripta, V.23 (1981) p.393.

8. Б.Ю.Балдин, А.И.Ронжин, З.Цисек. Препринт ОИЯИ, 13-7859, Дубна, 1974.
9. Cordon R.Kerns. IEEE Trans. Nucl. Sci., V.NS-14, N° 1 (1967) p.449.
10. J.S.Brown, T.H.Burnett, V.Cook et al. Nucl. Instr. and Meth. 221 (1984) p.503.
11. S.Banerjee, P.D.Beery, N.N.Biswas et al. Nucl. Instr. and Meth. A269 (1988) p.121.
12. M.Arenton, J.Dawson W.R.Ditzler et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., V.NS-30, N° 1 (1983) p.193.
13. A.N.Khrenov, S.V.Rikhvitsky, I.N.Semenyushkin. Nucl. Instr. and Meth. 123 (1975) p.471.
14. S.V.Afanasiev, Yu.S.Anisimov, A.I.Malakhov et al. JINR Rapid Communications N° 4[55]-92., Dubna, 1992.
15. L.S.Azhgirey, S.V.Afanasiev, E.V.Chernykh et al. 14th International IUPAP Conference on Few Body Problems in Physics. May 26-31, 1994, p.18.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 марта 1995 года.