

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ П.Н.ЛЕБЕДЕВА**

ПРЕПРИНТ

В.А.БАСКОВ, А.В. КОЛЬЦОВ, А.И. ЛЬВОВ,  
Л.Н. ПАВЛЮЧЕНКО, В.В. ПОЛЯНСКИЙ,  
Е.В. РЖАНОВ, С.С. СИДОРИН, Г.А. СОКОЛ

**НАСТРОЙКА И КАЛИБРОВКА  
ДЕТЕКТОРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  $\eta$ -МЕЗОННЫХ ЯДЕР**

**В ПЕЧАТЬ, В СВЕТ!**

Зам. директора ФИАН,  
док. физ. - мат. наук

Гиппиус А.А.

МОСКВА 2011

# **НАСТРОЙКА И КАЛИБРОВКА ДЕТЕКТОРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭТА-МЕЗОННЫХ ЯДЕР**

В.А. Басков, А.В. Кольцов, А.И. Львов, Л.Н. Павлюченко, В.В. Полянский,  
Е.В. Ржанов, С.С. Сидорин, Г.А. Сокол<sup>\*</sup>

## **Аннотация**

Представлена методика настройки и временной калибровки двухплечевой спектрометрической установки на основе сцинтилляционных детекторов для исследования эта-мезонных ядер.

# **SELECTION OF PERFORMANCE DATA AND CALIBRATION OF DETECTORS FOR RESEARCH OF ETA-MESIC NUCLEI**

V.A. Baskov, A.V. Kol'zov, A.I. L'vov, L.N. Pavljuchenko, V.V. Polianski,  
E.V. Rzanov, S.S. Sidorin, G.A. Sokol

## **Abstract**

The technique of selection of performance data of detectors and time calibration of two-arms spectrometer set-up on a basis scintillation detectors for researches eta-mesic nuclei is presented.

<sup>\*</sup> *gsokol@x4u.lebedev.ru*

## Введение

В настоящее время остаётся актуальной задача изучения поведения  $\eta$ -мезона и  $S_{11}(1535)$ -резонанса в ядерной среде с целью получения информации о  $\eta N$  взаимодействии и определения энергии связи  $E(\eta)$  в случае существования связанного состояния  $\eta$ -мезона с ядром.

На ускорителе ФИАН «ПАХРА» создана двухплечевая спектрометрическая установка на основе сцинтилляционных детекторов, предназначенная для исследования продуктов распадов  $\eta$ -мезонных ядер путем временных совпадений пион-нуклонных и нуклон-нуклонных пар. В работе представлена методика подбора рабочих характеристик и временная калибровка детекторов установки.

## Экспериментальная установка

Схема формирования  $\gamma$ -пучка и схема экспериментальной установки представлена на рис. 1 и рис. 2. Установка состоит из трех времяпролетных спектрометров (пионный спектрометр, нейтронный спектрометр и протонный спектрометр), предназначенных для регистрации  $(\pi^+pn)$ ,  $(ppp)$  и  $(pnp)$  событий, возникающих в фотомезонных процессах, в том числе и в процессах фоторождения  $\eta$ -мезонных ядер.

### 1. Состав спектрометров

Пионный спектрометр ( $\pi$  – спектрометр) предназначен для регистрации  $\pi^+$  мезонов, возникающих при распаде  $\eta$ -ядра (через распад виртуального  $S_{11}(1535)$  резонанса  $S_{11}(1535) \rightarrow \pi^+ + n$ ). Он состоит из старт-детектора (Т1), общего для обоих плеч установки, и стоп-детектора (Т2) и трех  $\Delta E$  детекторов ( $\Delta E_1, \Delta E_2, \Delta E_3$ ), расположенных после Т2-детектора.

Нейтронный спектрометр ( $n$  – спектрометр) предназначен для регистрации нейтронов, возникающих также при распаде  $\eta$ -ядра и состоит из вето-детектора (А) и четырёх нейтронных стоп-детекторов –  $n1, n2, n3, n4$ .

Все детекторы представляют из себя квадратные сцинтилляционные пластины размером:  $20 \times 20 \times 2 \text{ см}^3$  – старт-детектор,  $50 \times 50 \times 5 \text{ см}^3$  – стоп-детектор и  $40 \times 40 \times 2 \text{ см}^3$  –  $\Delta E$ -детекторы в  $\pi$  – спектрометре;  $50 \times 50 \times 2 \text{ см}^3$  – вето-детектор и  $50 \times 50 \times 10 \text{ см}^3$  – стоп-детекторы в  $n$  – спектрометре.

Каждый детектор имеет 4 ФЭУ, расположенные по углам сцинтилляционной пластины. В детекторе Т1 (старт) и  $\Delta E$ -детекторах используются ФЭУ-85, в остальных детекторах обоих спектрометров используются ФЭУ-143-Б.

Протонный спектрометр предназначен для регистрации протона из первой стадии формирования  $\eta$ -ядра и состоит из спектрометра Р и детектора  $\Delta E$  ( $\Delta E_4$ ). Спектрометр Р представляет из себя 6 полуколец, составляющих 3 кольца толщиной 5 см и диаметрами 21 см, 33 см и 45 см, соответственно. Детектор  $\Delta E_4$  является сцинтилляционной пластиной  $50 \times 50 \times 2 \text{ см}^3$  с отсутствующей центральной частью диаметром 15 см. Сигналы с  $\Delta E_4$  детектора снимаются с помощью двух ФЭУ, расположенных на противоположных сторонах пластины относительно центральной части.

## 2. Электроника

Сигналы с ФЭУ детекторов передаются в пультовую, в которой находится электроника для дальнейшей обработки сигналов. Каждый сигнал с выхода делителя ФЭУ по высокочастотным кабелю с волновым сопротивлением  $R_{\text{волн}} = 50$  Ом и длиной  $L \sim 150$  м подаётся на вход формирователя со следящим порогом (ФСП), на котором имеется RC-цепочка для согласования сопротивлений высокочастотного кабеля и входного каскада ФСП.

Электронная блок-схема установки приведена на рис. 3.  $\pi$  – спектрометр имеет 8 каналов регистрации по времени: 2 блока время-цифровых преобразователя (ВЦП) для старт и стоп-детекторов (каждый блок по 4 входа с 1024 каналами на каждый вход); 3 блока зарядо-цифровых преобразователя (ЗЦП) для  $\Delta E$ -детекторов (каждый блок по 4 входа). Для формирования сигнала “старт” для

всей установки используются 3 блока время-координатного компенсатора (ВКК).

n – спектрометр имеет 16 каналов регистрации по времени пролета: 4 блока ВЦП для 4-х n–детекторов и один 16-канальный блок для суммарного подсчета событий (“регистр”), на входы которого поданы сигналы с 4-х n – детекторов, вето-счетчика А и спектрометра p.

p – спектрометр имеет 6 каналов регистрации по времени пролета (2 блока ВЦП) и блок для суммарного подсчета событий (“регистр”). Сигналы с детектора  $\Delta E_4$  суммируются и подаются на блок ЗЦП.

Таким образом, электронная часть установки содержит 6 блоков ФСП, 2 блока ВКК, 6 блоков ВЦП, 4 блока ЗЦП и 1 блок “регистр”.

Связь детекторов установки с компьютером осуществляется через крейт-контроллер КК-009.

### **Методика подбора рабочих напряжений ФЭУ**

Для эффективной работы экспериментальной установки является важным выбор ФЭУ и делителей. Перед эксплуатацией установки из имеющихся ФЭУ была произведена выборка. Выборка производилась по минимальному времени формирования сигнала на динодах ФЭУ. В работе использовались стандартные делители для ФЭУ-85 и ФЭУ-143-Б, рекомендуемые заводом изготовителем.

Так как для экспериментальных измерений использовалась время-пролетная методика, то все детекторы установки, за исключением  $\Delta E$  детекторов  $\pi$  – спектрометра ( $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$ ,  $\Delta E_3$ ) и детектора  $\Delta E_4$  p – спектрометра, были настроены на работу в счетном режиме.

Подборка рабочих напряжений на ФЭУ и пороговых напряжений на формирователях со следящим порогом (ФСП) производилась таким образом, чтобы порог формирования сигнала ФСП и, соответственно, ему сопутствующая амплитуда сигнала были пропорциональны толщине сцинтилляционного детектора, через который проходила частица, и имелось наилучшее соотношение сиг-

нал/шум. Подборка рабочих напряжений на ФЭУ и пороговых напряжений на ФСП производилась стандартным образом, описанным ниже.

Первоначальная настройка проводилась на космических частицах - мюонах (минимально ионизирующих частицах). Детекторы установки последовательно устанавливались на некотором расстоянии по вертикали от Т1 (0,5 – 1,0 м) и проводились временные измерения совпадений Т1 с детектором. Такое расположение обеспечивало регистрацию вертикально падающих мюонов и исключало регистрацию частиц, летящих “сбоку”, для которых трек в детекторе мог иметь большой разброс по длине. Для вертикально падающих частиц трек соответствовал толщине детектора  $\Delta x$ .

При удельной потере энергии релятивистской частицы  $\Delta E/\rho\Delta x \approx 2$  МэВ·см<sup>2</sup>/г будут реализованы потери:  $\Delta E(1) \approx 4$  МэВ в детекторах с  $\Delta x = 2$  см (Т1, А,  $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$ ,  $\Delta E_3$ ),  $\Delta E(2) \approx 10$  МэВ в детекторе с  $\Delta x = 5$  см (Т2) и  $\Delta E(3) \approx 20$  МэВ в детекторах с  $\Delta x = 10$  см (N1, N2, N3, N4).

На первом этапе настройки при пороговом напряжении ФСП  $U_{\text{порог}} = 50$  мВ  $U_{\text{порог max}} \geq U_{\text{порог}} \geq U_{\text{порог min}}$  определялись вольтамперные характеристики всех ФЭУ детектора и выбирались рабочие напряжения  $U_{\text{ФЭУ}}$  на делителях. Далее, при выбранных рабочих напряжениях определялась зависимость счета космических мюонов от величины  $U_{\text{порог}}$  формирователей. На следующем шаге для каждой толщины детектора  $U_{\text{ФЭУ}}$  и  $U_{\text{порог}}$  подбирались такими, чтобы величина сигнала, которая в данном случае соответствовала величине порога, соответствовала также толщине данного детектора, пропорционального толщинам других детекторов. На рис. 4 представлены зависимости счета мюонов от величины порога ФСП для одного из каналов детекторов А, Т2, N1 - N4.

На рис. 4 представлены зависимости отношения  $\Delta N/\Delta U_{\text{порог}}$  от  $U_{\text{порог}}$ , определяющие зависимости сигнала с ФЭУ относительно выбранного порога. Зависимость сложная, имеет несколько областей. На примере зависимости для N4 видим, что до величины порога  $U_{\text{порог}} \leq 30$  мВ сигнал определяется шумами ФЭУ ( $\Delta N/\Delta U_{\text{порог}} = 0$ , величина счета на кривой 1 постоянна); начиная с  $U_{\text{порог}} \approx 30$  мВ

минимальная амплитуда сигнала от прошедшей через детектор частицы начинает превышать амплитуду шумового сигнала и отношение  $\Delta N/\Delta U_{\text{порог}}$  начинает расти вплоть до величины  $\Delta N/\Delta U_{\text{порог}} = \Delta N/\Delta U_{\text{порог оптим}} = 140 \pm 10$  мВ, при котором шумы подавлены и амплитуда сигнала максимальная. При дальнейшем увеличении порога ФСП начинает уменьшаться сама амплитуда сигнала от частицы и отношение  $\Delta N/\Delta U_{\text{порог}}$  уменьшается.

При работе выставляется минимальный порог, при котором значительная часть шумов подавлена, но хорошо регистрируется сигнал от прошедшей частицы. При данном пороге эффективность регистрации мюонов максимальная.

На рис. 5 представлена кривая настройки, показывающая зависимость порога ФСП от толщины детектора. Видно, что зависимость пропорциональная.

### **Калибровка установки по времени пролета на фотонном пучке**

Как было указано, для измерения энергии частицы в установке используется время-пролетная методика, с помощью которой осуществляется измерение времени пролета частицы  $t$  на соответствующей базе пролета  $L$ . Знание типа и массы частицы дает возможность перевести время пролета в энергию частицы (1).

База пролета  $L$  вычисляется как отрезок пробега частицы между T1 (“старт”) и T2 (“стоп”) детекторами. Точность определения пролета частицы между T1 и T2 ( $\Delta t = t(T2) - t(T1)$ ) и, соответственно, точность определения  $L$  важна, поскольку определяют точность в определении энергии регистрируемой частицы  $E$ :

$$\beta = L/c\Delta t; \quad E = m(1/(1 - \beta^2)^{1/2} - 1), \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света;  $m$  – масса частицы.

Калибровка детекторов по времени проводилась на пучке частиц от физической мишени, помещенный в  $\gamma$  пучок. Для этой цели использовались детекторы  $s_1$  и  $s_2$ , размером  $5 \times 5$  см<sup>2</sup>. Первый этап настройки состоял в сравнении временных спектров, измеряемых ВЦП от каждого из 4-х ФЭУ детектора. Из-за

различия в величине задержки формирования сигнала ФЭУ и задержки сигнала при его прохождении по высокочастотным кабелям, по которому сигналы от ФЭУ подаются на входы ВЦП, спектры от каждого из 4-х каналов регистрации будут расположены в разных каналах ВЦП. Цель настройки: совместить все 4 спектра путем введения необходимых временных задержек в соответствующий канал ВЦП.

Вторым этапом калибровки являлось определение цены канала ВЦП, то есть определение коэффициента  $\alpha$  в соотношении  $t = \alpha n$ , где  $n$  – число каналов регистрации ВЦП, соответствующих времени пролета  $t$ . Для этого, вплотную перед Т1 и Т2 помещались  $s_1$  и  $s_2$ , определялись  $n$  в каждом ВЦП, соответствующие нулевому интервалу времени пролета релятивистской частицы через Т1 и Т2. Затем Т2 вместе с  $s_2$  отодвигались на некоторое расстояние и в каждой позиции определялось положение пика в спектрах Т2 и  $\alpha = L/\langle n \rangle$ , где  $\langle n \rangle$  – средний канал временного распределения в Т2 (рис. 6). Было определено, что одному каналу ВЦП соответствует 100 псек.

После выполнения калибровки счетчики  $s_1$  и  $s_2$  снимались и выставлялись рабочие значения  $L$  в спектрометре  $\pi$  между мишенью и Т1, между Т1 и Т2, а также в спектрометре  $n$  между мишенью и А, N1, N2, N3, N4.

На рис. 7 представлены итоговые временные спектры, полученные при работе установки на тормозном  $\gamma$ -пучке, формируемом электронами с энергией 850 МэВ. Все спектры по величине  $\beta$  занимает диапазон от  $\beta = 1$  (левый край узкого левого пика) до  $\beta \approx 0,4$  (правый край правого широкого пика). Левый узкий пик представляет из собой смесь релятивистских частиц – продуктов конверсии в мишени  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов в  $e^+e^-$  пары и “быстрых” ( $\Delta\beta = 0,95 \div 0,98$ )  $\pi^+$ -мезонов.

## **Заключение**

Определение рабочих характеристик детекторов и выполнение калибровки по указанным методикам позволили эффективно провести наборы эксперимен-

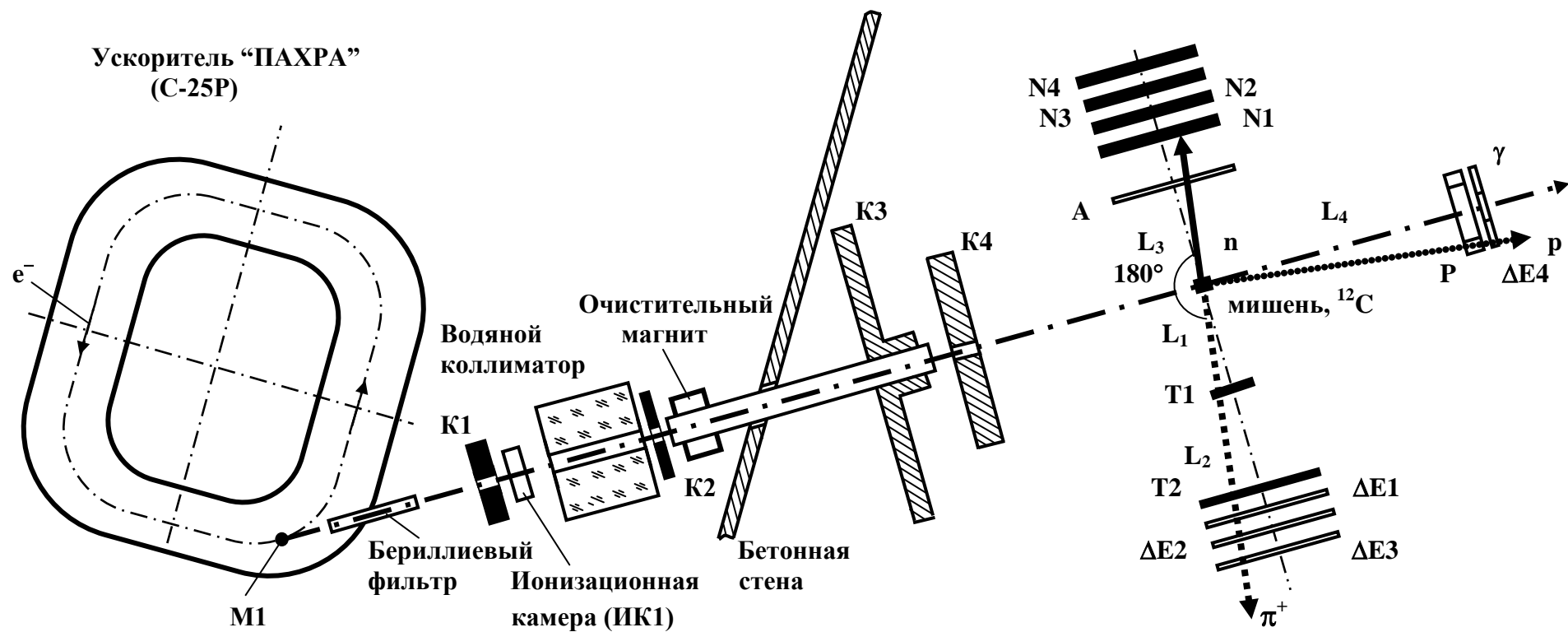


тальной статистики и зарегистрировать образование эта-ядер на мишени углерода.

Работа поддержана грантом РФФИ 10-02-01433-а.

## **Литература**

1. G.A. Sokol et al. Fizika B (Zagreb) 1999, n 8, 81.
2. Г.А. Сокол и др. Письма в ЭЧАЯ 2000, № 5 (102), 71.
3. В.Н. Павлюченко ВАНТ, техника физического эксперимента 1982, т. 13, № 1, 39.
4. М.Х. Аникина и др. Препринт ФИАН №21, Москва, 2003.
5. Г.А. Сокол и др. Препринт ФИАН №17, Москва, 2006.



**Рис. 1.** Схема формирования  $\gamma$ -пучка электронного синхротрона ФИАН ПАХРА и схема расположения двухплечевой спектрометрической установки:  
 T1, T2 - "старт" и "стоп" – детекторы  $\pi^+$  - спектрометра;  $\Delta E1$ ,  $\Delta E2$ ,  $\Delta E3$  -  $\Delta E$  - детекторы; A – анти ("veto") – детектор; N1- N4 – детекторы n - спектрометра; P,  $\Delta E4$  - детекторы p-спектрометра;  
 $K_i$  - Pb коллиматоры и стенки;  $L_{1-4}$  – длины пролетов частиц ( $L_1=0,7$  м,  $L_2=1,37$  м,  $L_3=1,38$  м,  $L_4=1,0$  м).

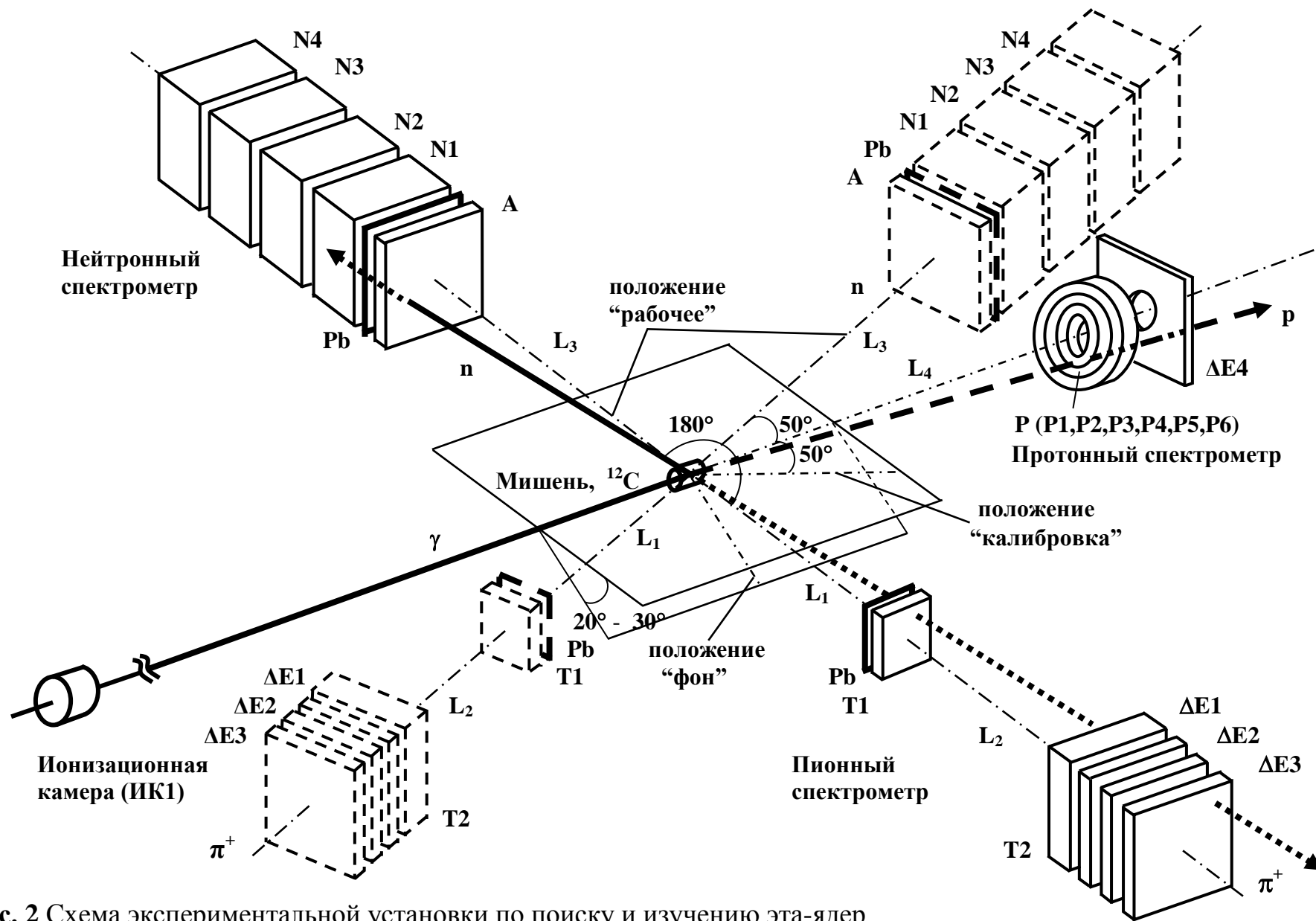
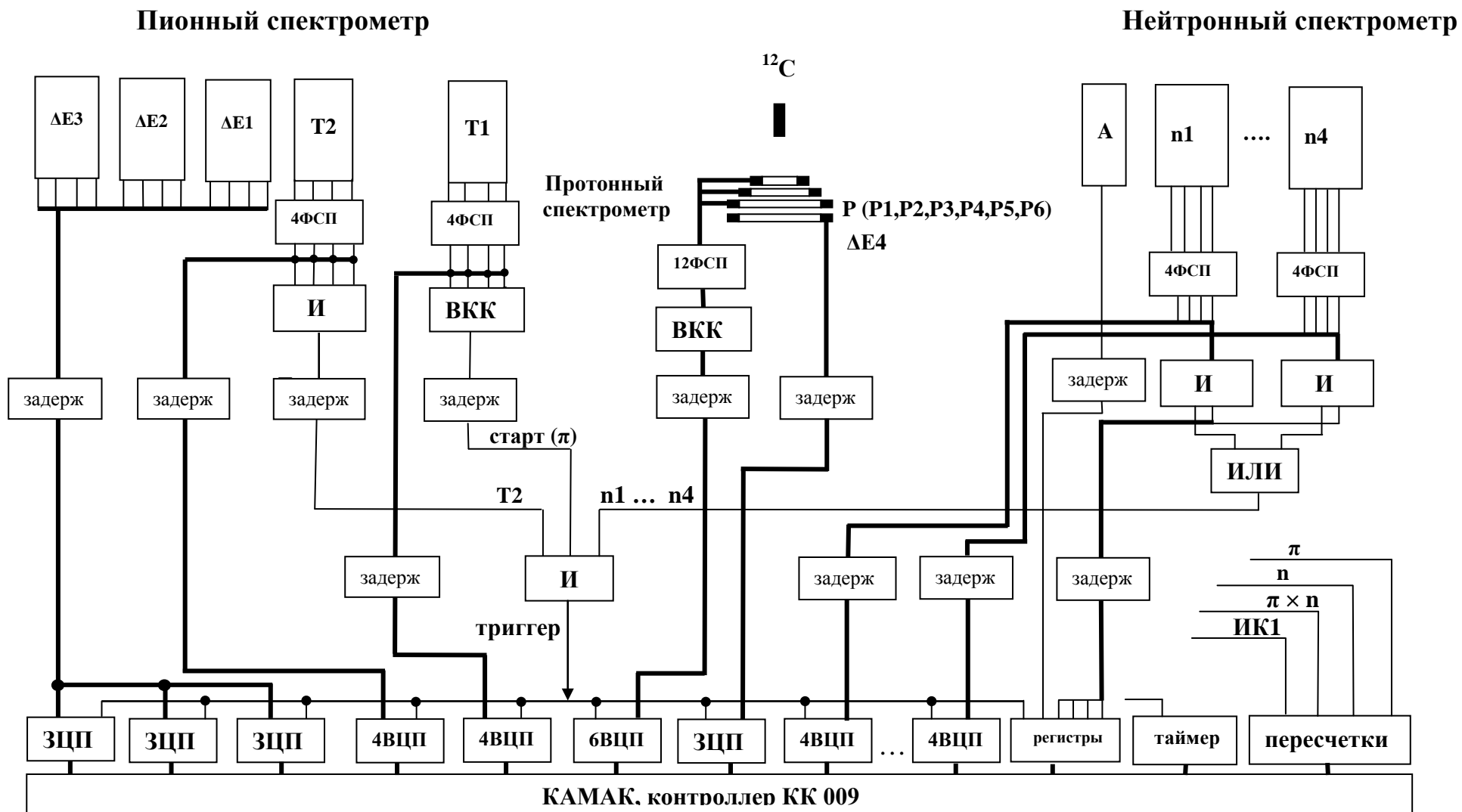
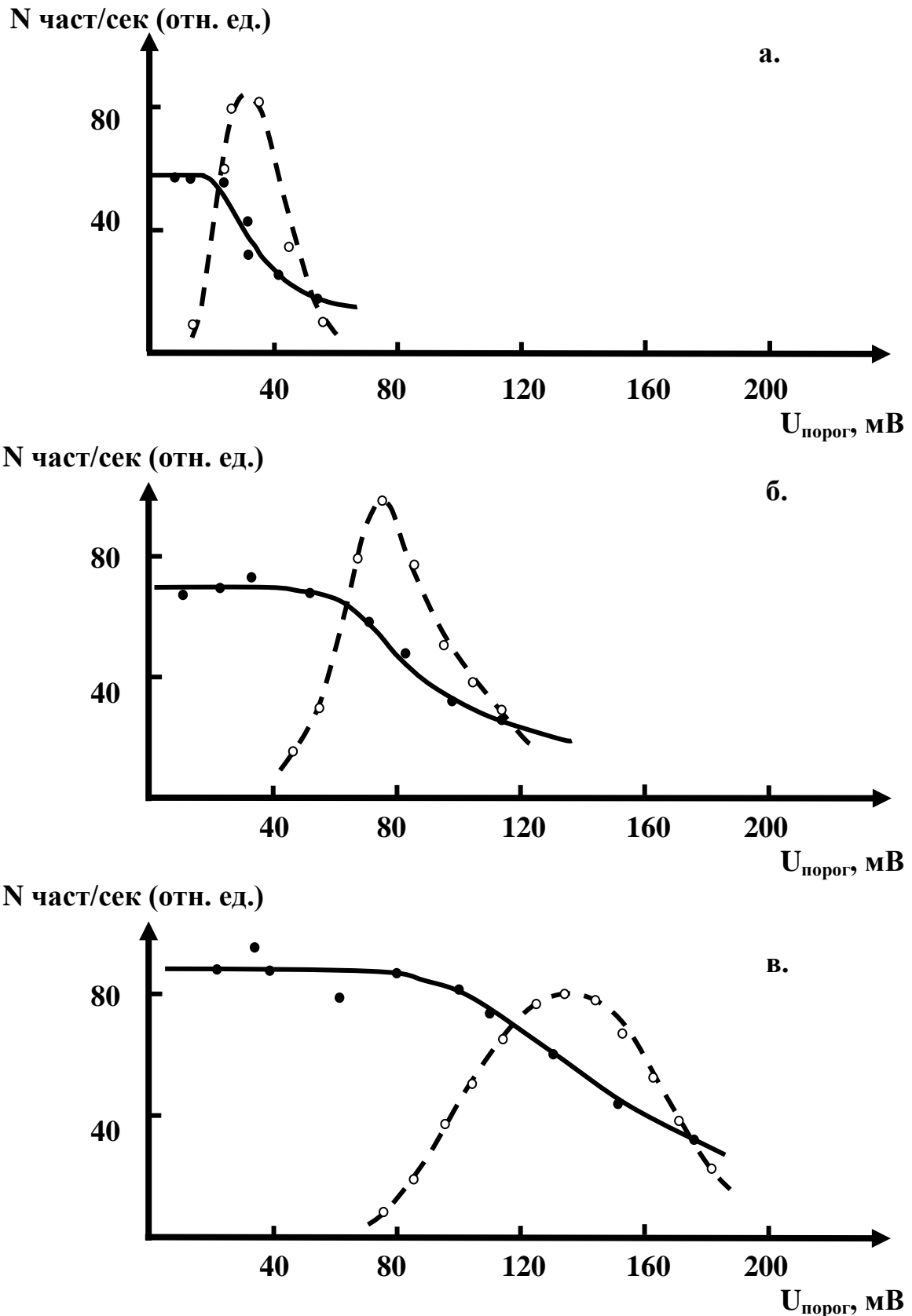


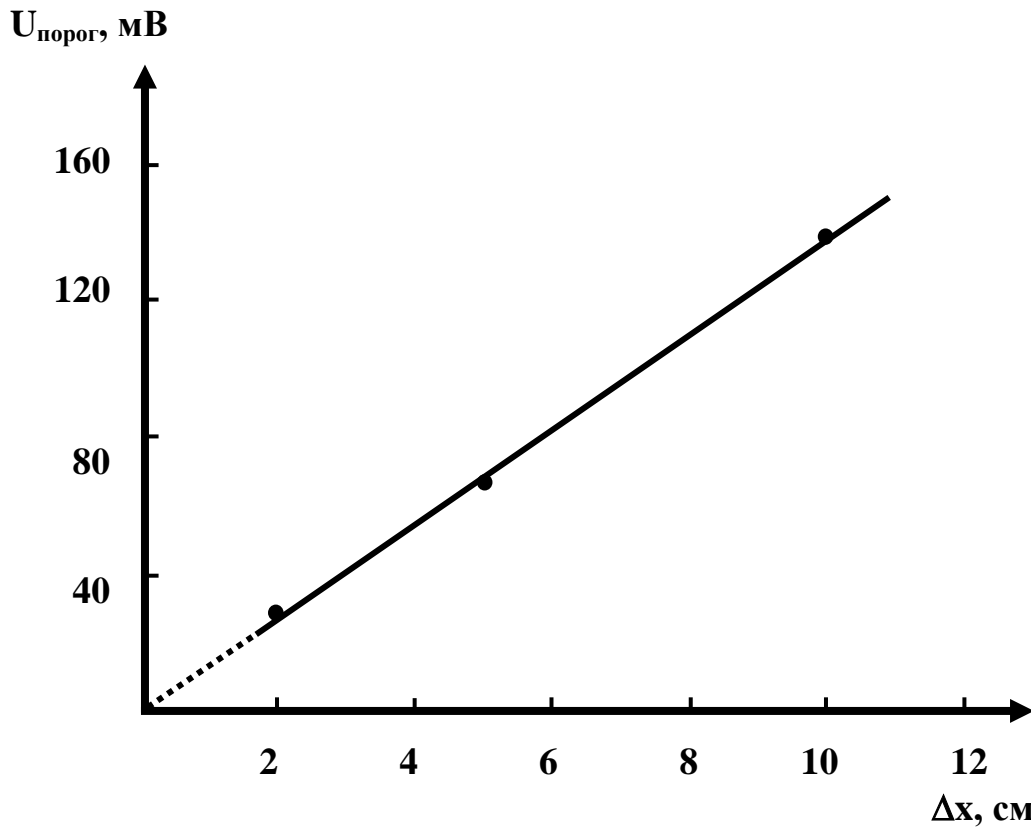
Рис. 2 Схема экспериментальной установки по поиску и изучению  $\theta$ -ядер.



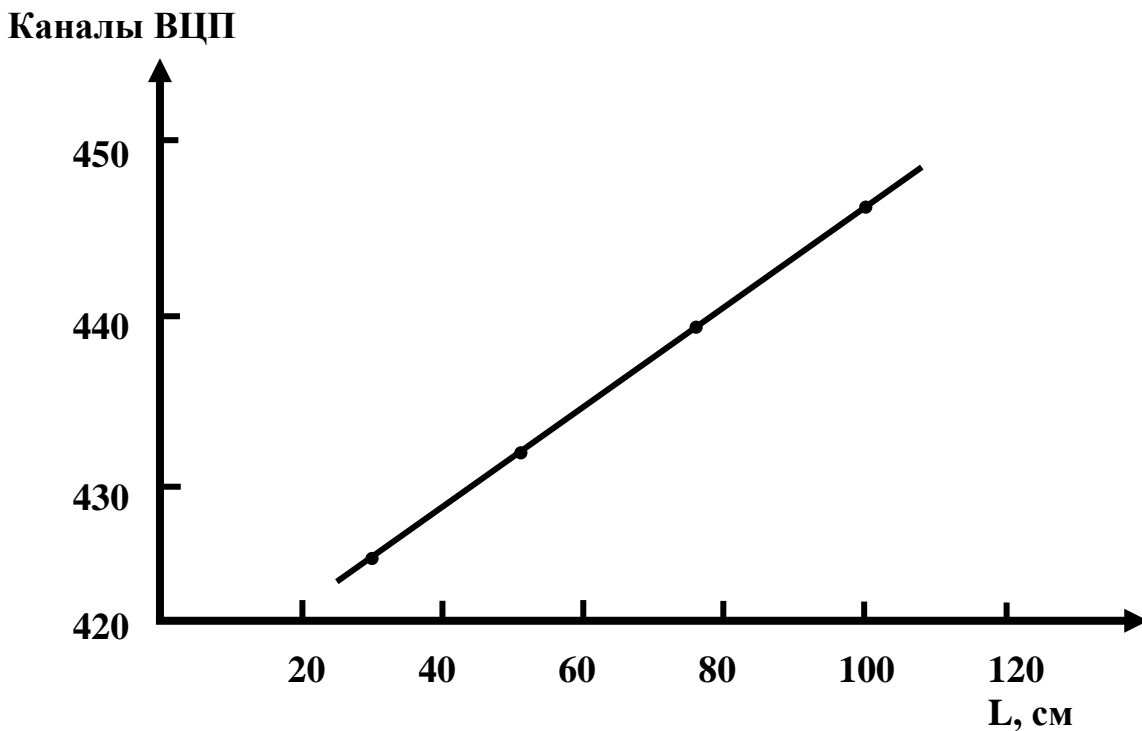
**Рис. 3** Электронная блок-схема установки по поиску и исследованию эта-ядер.  
**ФСП** - формирователь со следящим порогом; **ВКК** - Время-координатный компенсатор,  
**ВЦП** - время-цифровой преобразователь; **ЗЦП** - зарядо-цифровой преобразователь



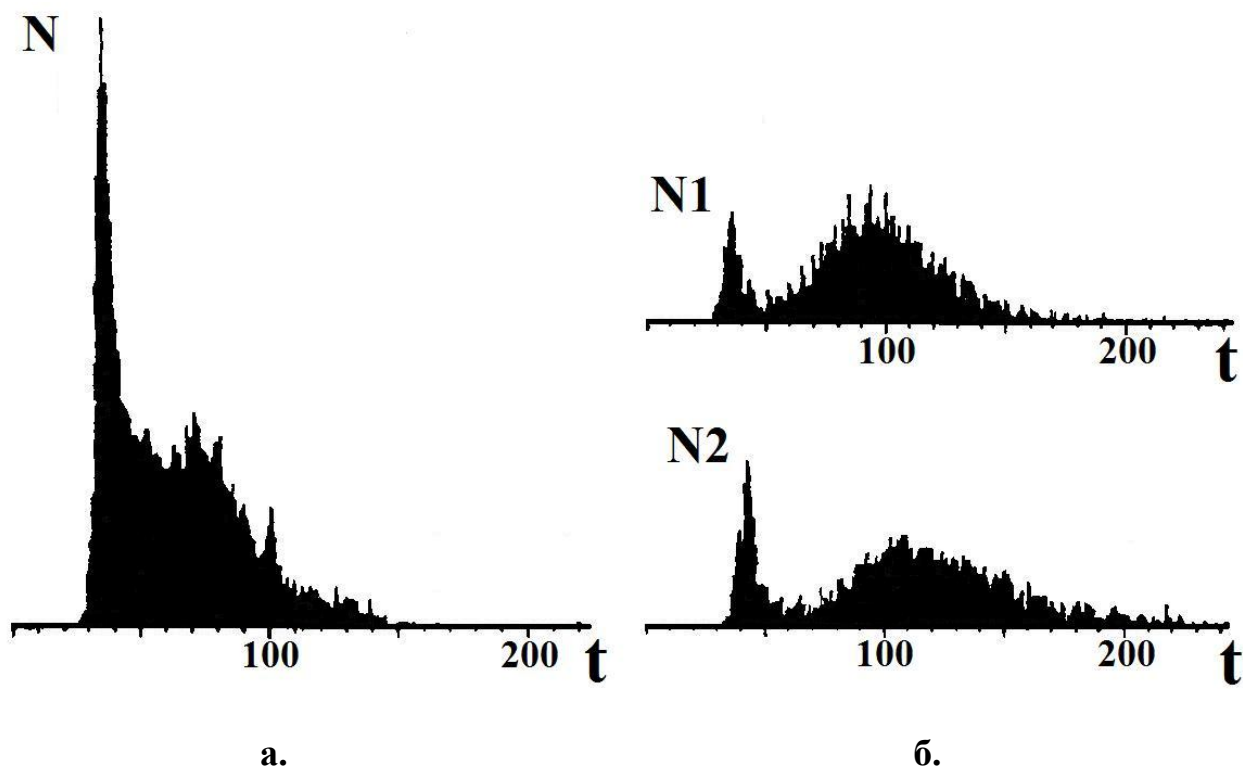
**Рис. 4.** Зависимость счета мюонов от величины порога формирователей для одного из ФЭУ детекторов: а. - А, б. - Т2, в. - N4 (•); зависимости отношения  $\Delta N/\Delta U_{\text{порог}}$  от величины порога формирователей (○).



**Рис. 5.** Зависимость величины порогового напряжения формирователей ( $U_{\text{порог}}$ ) от толщины детектора ( $\Delta x$ ).



**Рис. 6.** Зависимость среднего канала по временному спектру в T2 от расстояния между T1 и T2.



**Рис. 7.** Спектры по времени пролета частиц: а. – временной спектр в  $\pi$  - спектрометре; б. – временные спектры в  $n$  – спектрометре (верхний в детекторе N1; нижний в детекторе N2) (по оси абсцисс во всех спектрах время в каналах ВЦП).