

Institute for Nuclear Research
of the Russian Academy of Sciences

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований
Российской академии наук



С.И. Поташев, В.Н. Марин, А.А. Афонин, С.Х. Караевский,
Ю.М. Бурмистров, В.И. Разин, Р.А. Садыков, Е.С. Конобеевский

**Газовый
позиционно-чувствительный детектор
медленных нейтронов с чувствительной
областью 400 мм × 400 мм**

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН
1415/2015
НОЯБРЬ 2015

препринт
preprint

МОСКВА 2015 MOSCOW

Institute for Nuclear Research
of the Russian Academy of Sciences

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований
Российской академии наук



С.И. Поташев, В.Н. Марин, А.А. Афонин, С.Х. Караевский,
Ю.М. Бурмистров, В.И. Разин, Р.А. Садыков, Е. С. Конобеевский

**Газовый
позиционно-чувствительный детектор
медленных нейтронов с чувствительной областью
400 мм × 400 мм**

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН

1415/2015

НОЯБРЬ 2015

МОСКВА

2015

Institute for Nuclear Research
of the Russian Academy of Sciences
60-th October Anniversary prospect 7a,
Moscow 117312, Russia

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук
проспект 60-летия Октября, 7а
Москва, 117312

С.И. Поташев, В.Н. Марин, А.А. Афонин,
С.Х. Караевский, Ю.М. Бурмистров, В.И. Разин,
Р.А. Садыков, Е.С. Конобеевский

Газовый
позиционно-чувствительный детектор
медленных нейтронов с чувствительной
областью 400 мм×400 мм

Предложен газовый двухкоординатный позиционно-чувствительный многопроволочный детектор на основе гелия-3 для регистрации медленных нейтронов с размерами чувствительной области 400×400 мм². Ожидаемое пространственное разрешение составляет 1,6 мм, а относительное разрешение оценивается как 0,004 при эффективности регистрации до 40% при длине волны нейтрона 4А. Вместе в координатами измеряется время пролета регистрируемого нейтрона. Создано оборудование для изготовления таких детекторов. Разработаны электроника, система сбора данных КАМАК и программное обеспечение в ОС Linux.

S.I. Potashev, V.N. Marin, A.A. Afonin,
S.Kh. Karaevsky, Yu.M. Burmistrov, V.I. Razin,
R. A. Sadykov, E. S. Konobeevsky

Gaseous
positional sensitive detector
for slow neutron of active
area 400 mm x 400 mm

Gaseous two-dimensional position sensitive multiwire detector of active area 400×400 mm² filled by gas mixture with helium-3 for slow neutron is proposed. Spatial resolution of 1.6 mm and relative resolution of 0.004 is estimated at efficiency up to 40% and at 4А neutron wavelength. Time of flight of detected neutron is measured also. Equipment for this detector manufacturing is created. Electronic readout, CAMAC data acquisition system and software in OS Linux is elaborated.

С.И. Поташев, В.Н. Марин, А.А. Афонин,
С.Х. Караевский, Ю.М. Бурмистров, В.И. Разин,
Р.А. Садыков, Е.С. Конобеевский

Газовый позиционно-чувствительный детектор
медленных нейтронов с чувствительной областью
400 мм×400 мм

Препринт 1415/2015

Ноябрь 2015

Подписано в печать 22.09.2015

Ф-т 60х84/8. Уч.-изд.л. 1,8. Зак. 22374 Тираж 70 экз.
Бесплатно

Печать цифровая
Издательский отдел

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

ISBN 978-5-94274-303-1

© Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований
Российской академии наук, 2015
Institute for Nuclear Research
of the Russian Academy of Sciences, 2015

1. Введение

Газовый двухкоординатный позиционно-чувствительный многопроволочный детектор медленных нейтронов будет использоваться в дифрактометре и на установке малоуглового рассеяния на Линейном ускорителе протонов в Институте ядерных исследований РАН. Дифрактометры и установки малоуглового рассеяния применяются во многих задачах исследования наноструктур в физике конденсированных сред при длине волны нейтронов от 0,9 до 6А. Одной из таких задач является изучение фазовых переходов в высокотемпературных сверхпроводниках [1]. Исследование структурных и магнитных свойств сверхрешетки есть также область применения этих установок [2]. Эксперименты по определению структуры тонких кристаллических пленок выполняются на таких установках [3]. Еще один пример применения — это исследование изменений наноструктуры сплава NiCrAl при отжиге [4]. Свойства магнитной жидкости также можно исследовать на рассматриваемых установках [5]. В области длин волн нейтронов 8А имеются широкие возможности изучения биомолекул с периодической структурой [6, 7, 8].

Размеры чувствительной области большинства существующих детекторов такого типа не превышает 200х200 мм², а разрешение составляет от 2 до 5 мм [9, 10]. Для детекторов большого размера высокое давление внутри детектора, необходимое для получения высокого пространственного разрешения, является недостижимым из-за ограниченной механической прочности входного окна из алюминиевого сплава. Толщина его не должна существенно ослаблять и рассеивать поток нейтронов. Другим ограничением является невозможность обеспечить электростатическую стабильность массива тонких проволок длиной более 500 мм из-за ограничения их механической прочности. Имеются детекторы с большой площадью, состоящие из нескольких малых детекторов. Однако, они обладают мертвыми зонами, имеют сложную конструкцию и большое число электронных каналов, что приводит к резкому удорожанию прибора [11, 12].

2. Захват нейтронов в газе, пространственное разрешение и эффективность

Детектирование нейтронов в детекторе основано на регистрации заряженных частиц, вылетающих из ядерной реакции



поперечное сечение которой составляет от $5,33 \cdot 10^{-21} \text{ см}^2$ при $\lambda = 1,82 \text{ А}$ до $2,4 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$ при $\lambda = 8 \text{ А}$. Угловое распределение вылетающих по отношению друг к другу под углом 180° протона и тритона является изотропным. Эффективность детектирования нейтрона зависит только от парциального давления газа ^3He , а газ CF_4 и другие компоненты газовой смеси уменьшают пробег вылетающих частиц, увеличивают газовое усиление и препятствуют возникновению непрерывного газового разряда. Пространственное разрешение определяется, главным образом, размерами области ионизации, создаваемой вылетающими частицами, величиной шага проволок регистрирующих катодов и величиной элементарной дискретной задержки сигнала между соседними проволочными стрипами. Размер области ионизации в основном зависит от пробега протонов R_p в газе CF_4 и оценивается как $0,7 R_p$. Например, при давлении 2 бар газа CF_4 пробег протонов $R_p = 2,5 \text{ мм}$ и из номограммы на Рис.1 следует, что неопределенность координаты за счет геометрии реакции равна 1,5 мм. Другой фактор, влияющий на пространственное разрешение — метод считывания. Если временное разрешение составляет 0,5 нс и задержка между стрипами из двух проволок с шагом 2 мм, составляет 1,25 нс, то вклад этого фактора 0,7 мм. Суммарное разрешение ограничено величиной 1,6 мм для парциального давления CF_4 2 бар и 1,3 мм для парциального давления 3 бар.

Ослабление потока нейтронов за счет толщины входного окна 12 мм составляет 11% при $\lambda = 0,9 \text{ А}$, 40% при $\lambda = 4 \text{ А}$, 72% при $\lambda = 10 \text{ А}$. Эффективность детектора определяется давлением газа ^3He . При давлении 1,5 бар и активной толщине 27 мм эффективность регистрации нейтронов составит 22% при $\lambda = 0,9 \text{ А}$, 41% при $\lambda = 4 \text{ А}$, 26% при $\lambda = 10 \text{ А}$.

Сравнение основных характеристик нашего детектора с характеристиками аналогов

Разрабатываемый детектор будет превосходить многие из существующих и проектируемых детекторов по размерам активной площади и разрешению. Такой детектор будет иметь эффективность, близкую к детекторам с активной площадью $200 \times 200 \text{ мм}^2$, разработанным в двух независимых группах в ОИЯИ [13,14] и к детектору с активной площадью $300 \times 300 \text{ мм}^2$, разработанному в ПИЯФ [15], разрешение которых составляет около 2,5 мм. В следующей таблице приведены: глубина детектирования в активном газе, значения эффективности регистрации ней-

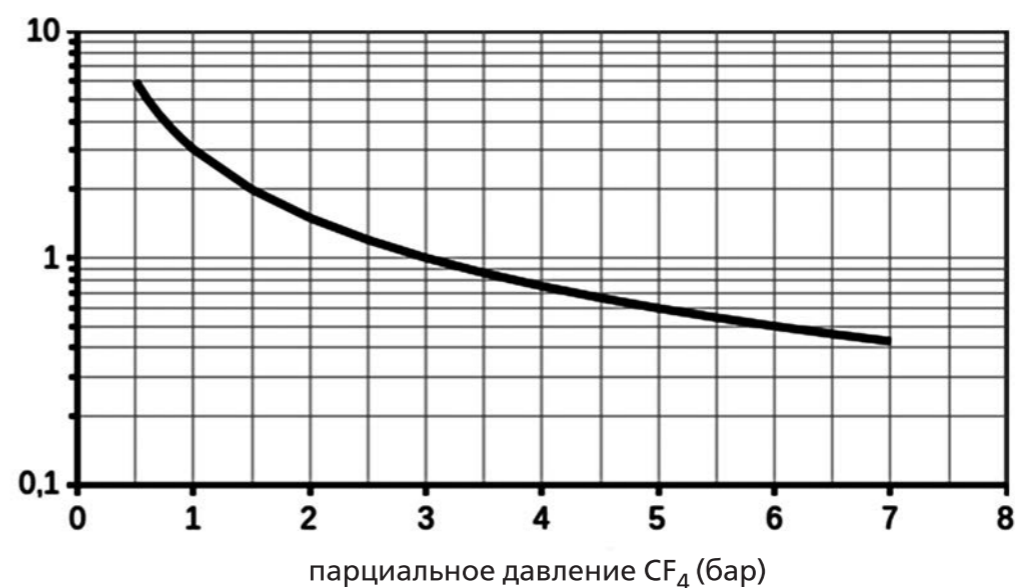


Рис.1. Зависимость разрешения детектора от парциального давления газа CF_4

тронов в активном газовом промежутке, фактор поглощения нейтронов во входном окне и результирующая эффективность для двух детекторов фирмы DENEX [16] с активной площадью $300 \times 300 \text{ мм}^2$ и $500 \times 500 \text{ мм}^2$, детектора ПИЯФ с активной площадью $300 \times 300 \text{ мм}^2$ и для нашего детектора $400 \times 400 \text{ мм}^2$.

$\lambda, \text{ А}$	DENEX500TN, 20мм	DENEX300TN, 20мм	ПИЯФ 300x300, 32мм	Наш 400x400, 27мм
0,9	$18\% \times 0,89 = 16\%$	$48\% \times 0,91 = 44\%$	$26\% \times 0,91 = 23\%$	$22\% \times 0,89 = 20\%$
2	$37\% \times 0,77 = 29\%$	$75\% \times 0,97 = 73\%$	$50\% \times 0,80 = 40\%$	$44\% \times 0,77 = 34\%$
4	$60\% \times 0,60 = 36\%$	$93\% \times 0,95 = 88\%$	$75\% \times 0,65 = 49\%$	$69\% \times 0,60 = 41\%$
8	$84\% \times 0,36 = 30\%$	$99\% \times 0,91 = 90\%$	$94\% \times 0,42 = 40\%$	$90\% \times 0,36 = 32\%$
9	$87\% \times 0,32 = 28\%$		$96\% \times 0,38 = 37\%$	$93\% \times 0,32 = 27\%$
10	$90\% \times 0,28 = 25\%$		$97\% \times 0,35 = 34\%$	$95\% \times 0,28 = 26\%$
16	$97\% \times 0,13 = 13\%$	$100\% \times 0,84 = 84\%$	$99\% \times 0,18 = 18\%$	$99\% \times 0,13 = 12\%$
20	$99\% \times 0,08 = 8\%$		$100\% \times 0,12 = 12\%$	$100\% \times 0,08 = 8\%$

Существует также детектор с размером активной площади $800 \times 500 \text{ мм}^2$ [17], эффективность которого составляет 75% при длине волны 3,14 А. Разрешение составляет 3,8 мм по первой координате и 3,0 мм по второй координате.

Расчеты по методике [18] показывают, что в детекторе DENEX500TN при диаметре проволоки 0,008мм данной марки из представленных авторами сведений [16] электростатическая стабильность не может быть достигнута.

Ключевым параметром при сравнении разрешения детекторов можно считать угловое разрешение детектора, которое определяет разрешающую способность установки и связано с относительным разрешением детектора, то есть отношением абсолютного разрешения к его линейному размеру. Относительное разрешение прибора, описанного в работе [17], равно $3,8/800 = 0,00475$, для детектора DENEX500TN составляет $3/500 = 0,006$, которые оба уступают относительному разрешению разрабатываемого нами детектора $1,6/400 = 0,004$.

Технические характеристики разрабатываемого детектора

№	Параметр	Величина	Комментарий
1	Активная площадь	400 × 400 мм ²	Внутренний размер рам — электродов, чувств. область 384 × 384 мм ²
2	Глубина детектиров.	27 мм	Расстояние между дрейфовыми электродами
3	Рабочий газ	1,5 бар ³ He 2 бар CF ₄ 1,6 бар Ar 0,4 бар CO ₂	Общее давление до 5,5 бар Общее максимальное давление до 7 бар
4	Пространственное разрешение	1,6 мм	За счет размера области ионизации 1,3 мм, за счет метода считывания 1 мм
5	Эффективность регистрации нейтронов детектором	22%, 20%, λ=0,9A 44%, 34%, λ=2 A 69%, 41% λ=4 A 90%, 32% λ=8 A 93%, 27% λ=9 A 95%, 26% λ=10 A 99%, 12%, λ=16A	Первая величина не учитывает поглощение нейтронов во входном окне, в вторая — учитывает, номинальная вероятность захвата нейтрона внутри объема детектора на глубине 27 мм, она вся является чувствительной к нейтронам, электронная лавина регистрируется от каждого нейтрона
6	Материал окна Коэффициент прохождения через окно	АМг6 0,89, λ=0,9 A 0,77, λ=2 A 0,60, λ=4 A 0,36, λ=8 A 0,32, λ=9 A 0,28, λ=10 A 0,13, λ=16 A	Материал и толщина выбраны оптимальными
7	Эффективность к γ	< 0,001%	Оценка по другим детекторам
8	Анодная проволока	20 мкм	Вольфрам — рений, покрытая золотом
9	Катодная проволока	50 мкм	Бериллиевая бронза
10	Дрейфовый электрод	100 мкм	Полиимид, покрытый медью
11	Герметичные контакты	FA12780, FA11668, FA11674	5 контактов, 2 контакта, 2 шт. по 1 контакт
12	Вентили (клапаны)	HY - Lok (Kogea) Сильфонные игольчатые	Нерж.сталь Клапаны сильфонные (вентили серии BL) male ZCR Fitting BLSV1VM-4, 2штуки

№	Параметр	Величина	Комментарий
13	Датчик давления	PTX 600 Series	
14	Линия задержки	191 × 1,25 нс=239 нс	Из дискретных элементов L и C
15	U0	около + 4200 В	Анод-катод
16	U1	около - 1400 В	Катод-дрейфовый электрод
17	Габариты	850 × 850 × 90 мм ³	
16	Вес	125 кг	

Многопроволочная пропорциональная камера

Конструкция многопроволочной пропорциональной камеры представлена на Рис.2. Квадратный корпус детектора, показанный на Рис.3 и рассчитанный на внутреннее давление до 7,5 бар, состоит из двух частей: бокса из дюралюминия марки Д16Т с толщиной стенки не менее 25 мм и крышки из алюминий-магниевого сплава марки АМГ6 толщиной 25 мм, которая имеет окно толщиной 10 мм и площадью 400 × 400 мм² для пропускания нейтронов. С внутренней стороны крышки монтируется с помощью фторопластовых винтов верхний дрейфовый электрод из АМГ6 толщиной 2 мм, отделенный от крышки изолятором из поли-

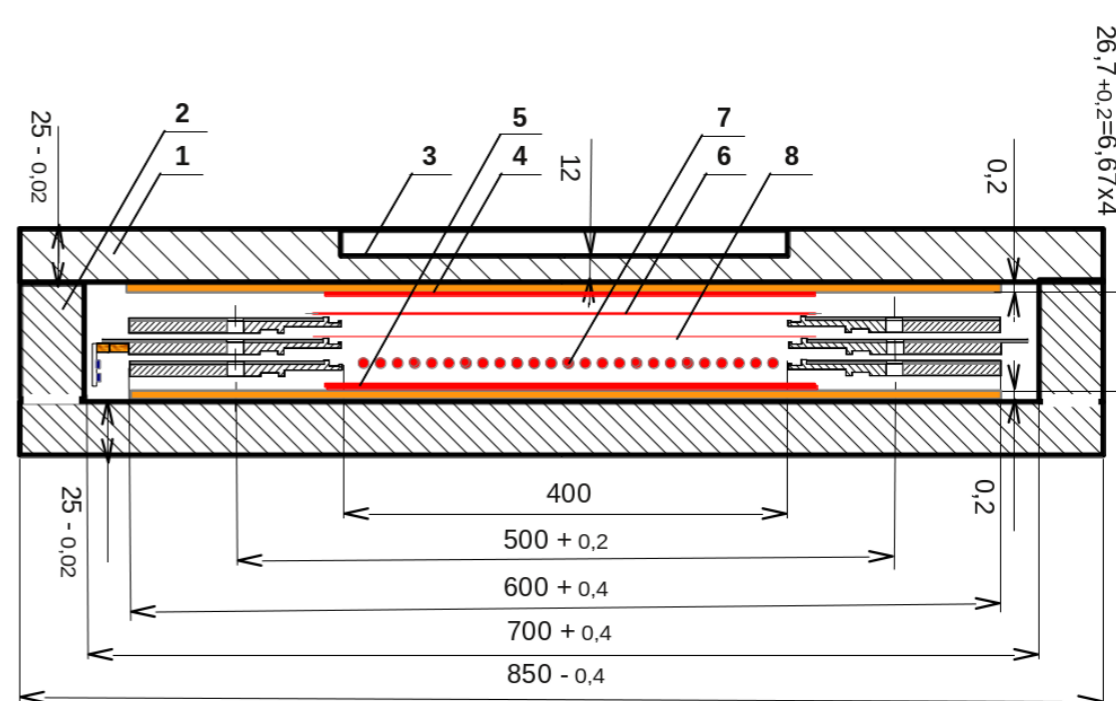


Рис. 2. Разрез детектора. 1 — крышка детектора; 2 — бокс; 3 — входное окно; 4, 5 — дрейфовые электроды; 6, 7 — катоды (сигнальные плоскости); 8 — анод

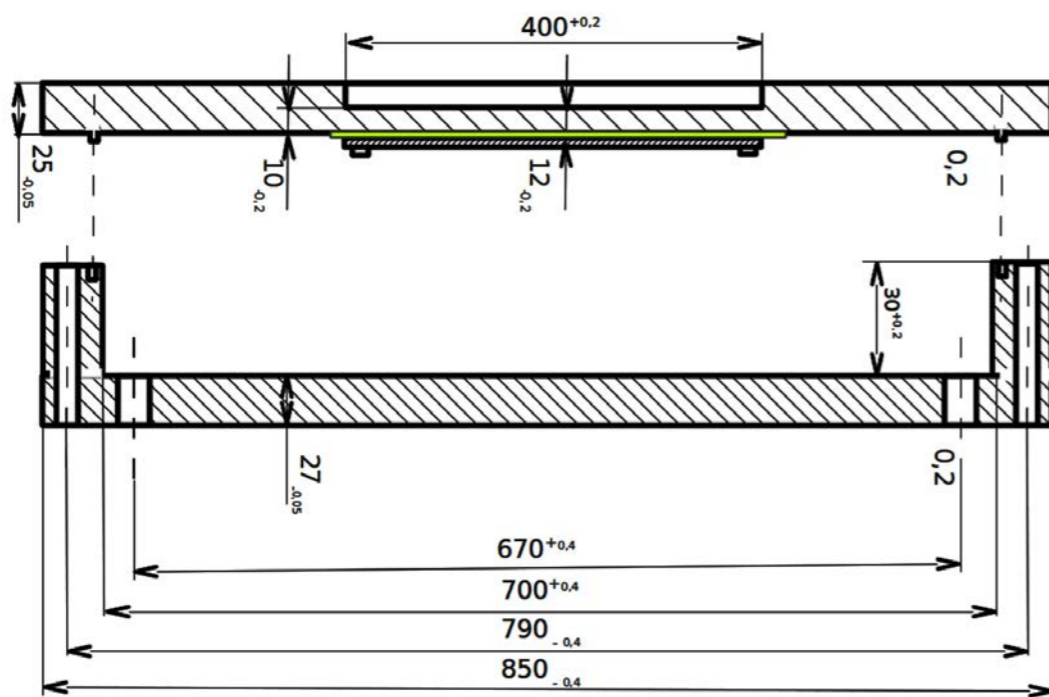


Рис. 3. Разрез корпуса детектора. 1 — крышка детектора; 2 — бокс. 3 — входное окно.; 4 — изолятор дрейфового электрода; 5 — дрейфовый электрод; 6 — токовводы и токовыводы

имидной пленки толщиной 0,1 мм. В боксе устанавливается: 2 вентиля для вакуумной откачки и наполнения детектора газовой смесью, высоковольтные герметичные разъемы и датчик давления. Бокс и крышка герметизируются с помощью проволоки из индия и стягиваются по периметру болтами и гайками.

Внутри корпуса монтируется сборка из трех плоскопараллельных рам электродов с натянутыми параллельно проволочками. Размещенный в середине сборки анод состоит из 192 изолированных друг от друга проволочек диаметром 0,02 мм из покрытого золотом вольфрам-ренийевого сплава и охранных проволок, которые намотаны с шагом 2 мм. Размещенные в сборке катоды, расположенные с двух сторон от анода, состоят из 384 проволочек с шагом 1 мм диаметром 0,05 мм из покрытого золотом бериллиевой бронзы, которые объединены попарно в 192 изолированных стрипа. Проволочки катодов взаимно перпендикулярны друг другу. На внутренней поверхности дна бокса наклеена полиимидная пленка толщиной 0,1 мм с медным покрытием, которая служит дрейфовым электродом.

Стрипы проволочек каждой рамы соединены между собой через дискретные задержки каждая величиной 1,25 нс, состоящие из одинако-

вых индуктивностей и емкостей. Таким образом, общая задержка сигнала каждого катода составляет 239 нс. Выводы с двух концов для каждого катода, вывод с анода, вывод с дрейфовых электродов, вывод «Земля» подключаются к высоковольтным герметичным контактам. Потенциал анода составляет от 3800 до 6000 В и будет зависеть от состава газовой смеси. Потенциал катодов и «Земля» около 0, к дрейфовым электродам приложен отрицательный потенциал примерно равный 1/3 от абсолютной величины потенциала анода.

Влияние газовой смеси на эффективность и разрешение

Эффективность регистрации нейтронов зависит только от толщины слоя и парциального давления ^3He . Эффективность падает за счет толщины и материала входного окна и пассивных элементов, находящихся перед активным объемом ионизационной камеры.

Пространственное разрешение зависит только от парциального давления CF_4 . Увеличение парциального давления улучшает разрешение, но и повышает рабочее напряжение питания камеры.

Зазор между анодом и катодом также как и зазор между катодом и дрейфовым электродом составляет 6,67 мм, толщина газа детектора равна $6,67 \text{ мм} \times 4 = 26,68 \text{ мм}$. Объем газа внутри рам: $4 \text{ дм} \times 4 \text{ дм} \times 0,2668 \text{ дм} = 4,27 \text{ л}$. Мы ожидаем получить парциальное давление ^3He в детекторе 1,5 бар, что соответствует параметрам детектора DENEX 500TN [16].

Линии задержки

Пары проволочек каждой рамы (см. Рис.4 и сечение стороны рамы в крупном масштабе см. Рис.5) соединены между собой через дискретные задержки величиной 1,25 нс, состоящие из одинаковых индуктивностей и емкостей. Таким образом, общая задержка сигнала каждого катода составляет 289 нс. Выводы с двух концов задержек катодов (всего 4), вывод с дрейфовых электродов и вывод «Земля» подключаются к высоковольтным герметичным контактам с герметизацией индием. Линии задержки, состоящие из проволочных индуктивностей серии CM4532(1ROKLB) с индуктивностью $1,25 \text{ мкГн} \pm 10\%$ в количестве 382 штук и кремниевые конденсаторы серии MMX-E с емкостью: $10 \text{ пФ} \pm 10\%$ в количестве 382 штук, непосредственно распаяны на катодах детектора.

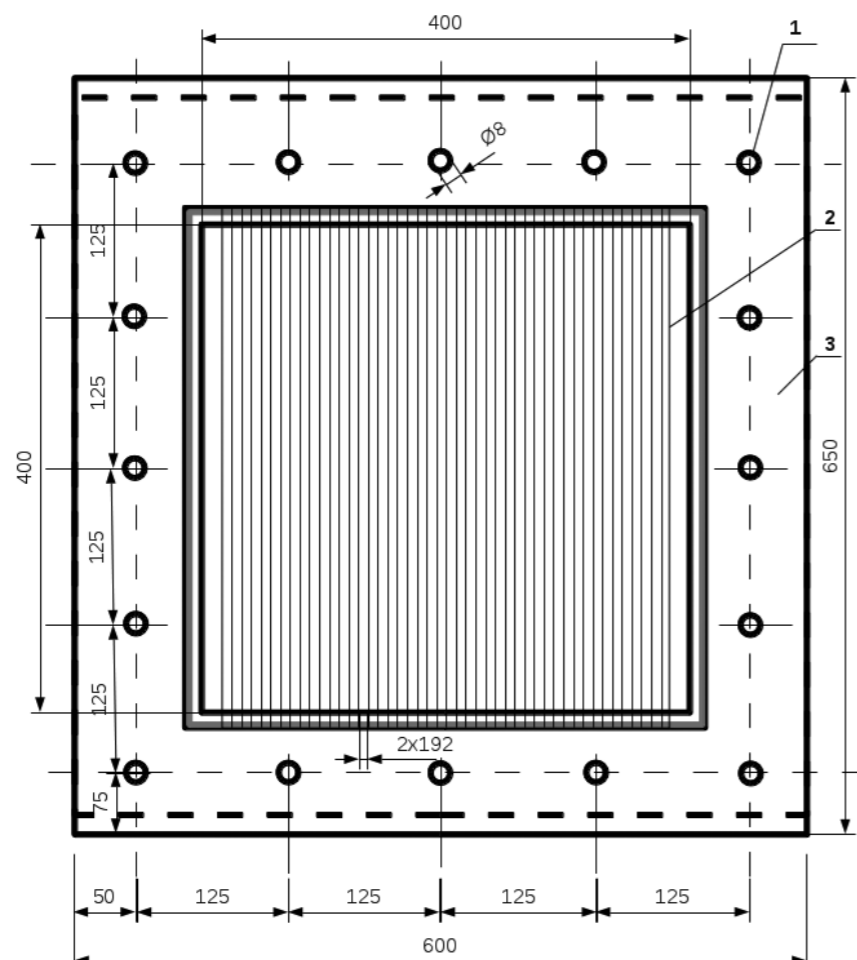


Рис. 4. Рама. 1 — отверстие для шпильки; 2 — проволоки (шаг 1 или 2 мм.); 3 — рама

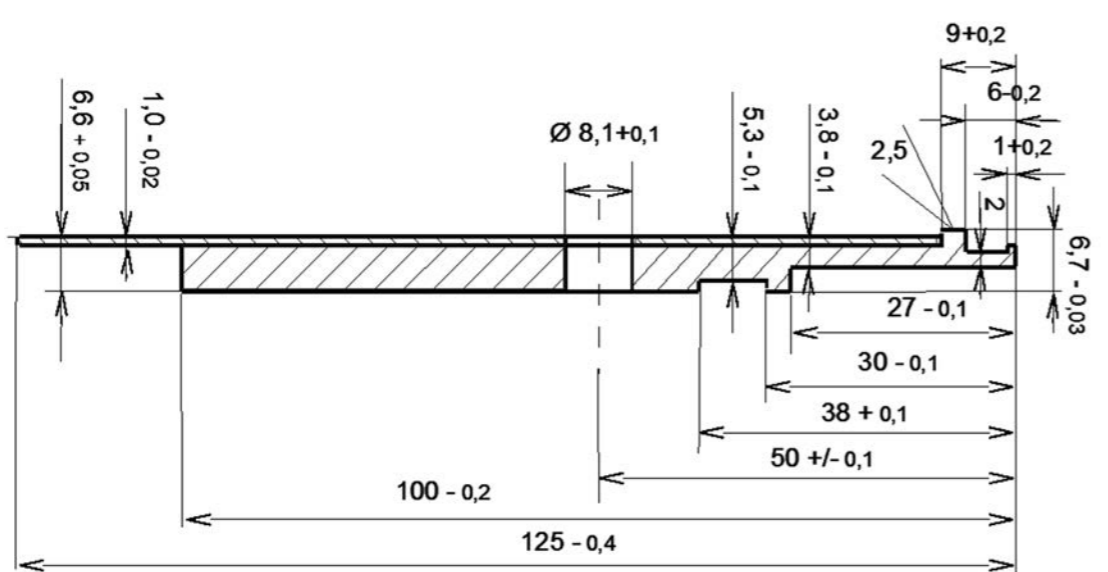


Рис. 5. Сечение стороны рамы. 1 — отверстие для шпильки; 2 — спейсер для проволоки; 3 — печатный электрод

Регистрирующая электроника

На Рис.6 изображена блок-схема подключения детектора, а на Рис.7 изображена структурная схема электроники сбора данных. Съем информации производится с двух концов двух распределенных линий задержки (координаты X и Y), а с анодной плоскости через высоковольтный разделительный конденсатор C формируется сигнал запуска для время-цифрового преобразователя. Для этого сигнал подается на усилитель формирователь **сfd2**. С двух концов линии задержки координаты X сигналы поступают через усилители **amp** на формирователи с временной привязкой **сfd1** и **сfd3** и далее приходят на входы **stop1** и **stop2** время-цифрового преобразователя **TDC1**. Аналогично, с распределенной линии задержки координаты Y сигналы через **amp** и **сfd4** и **сfd5** поступают на входы **stop3** и **stop4** время-цифрового преобразователя **TDC1**. **TDC1** имеет шаг измерения 1 нс, диапазон измерения 1 мкс и время преоб-

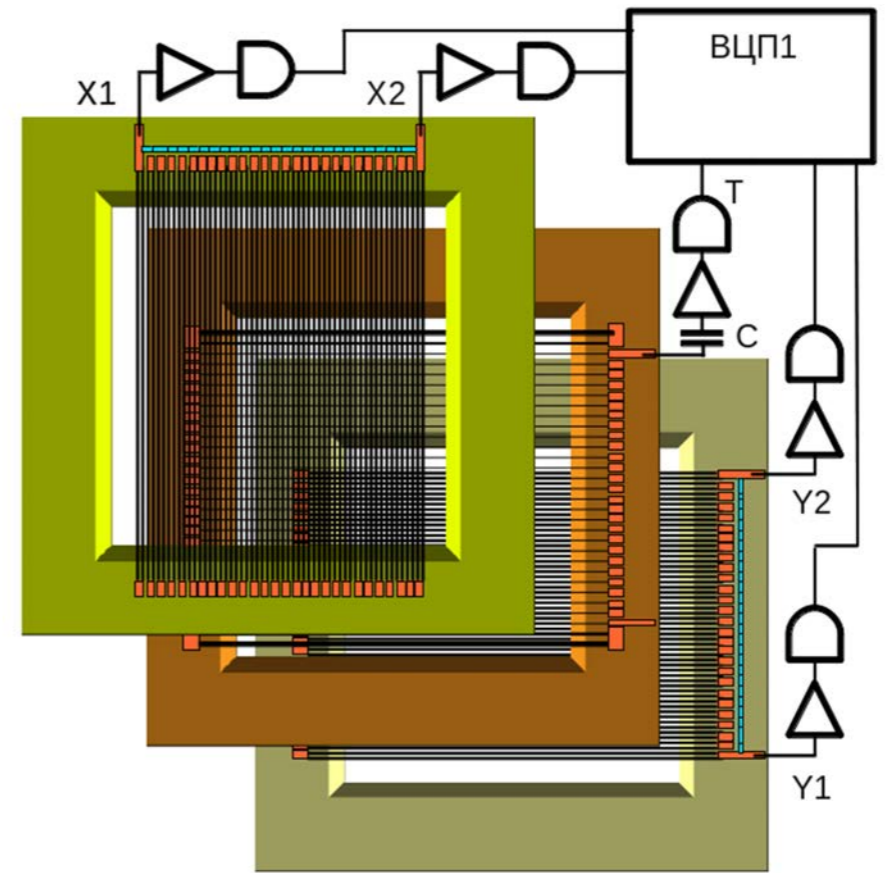


Рис.6. Блок-схема подключения детектора к системе сбора данных: X1, X2 — задержка координаты X, Y1, Y2 — задержка координаты Y, C — разделительный конденсатор, T — триггер, ВЦП1 — время-цифровой преобразователь с одним стартом и четырьмя стопами

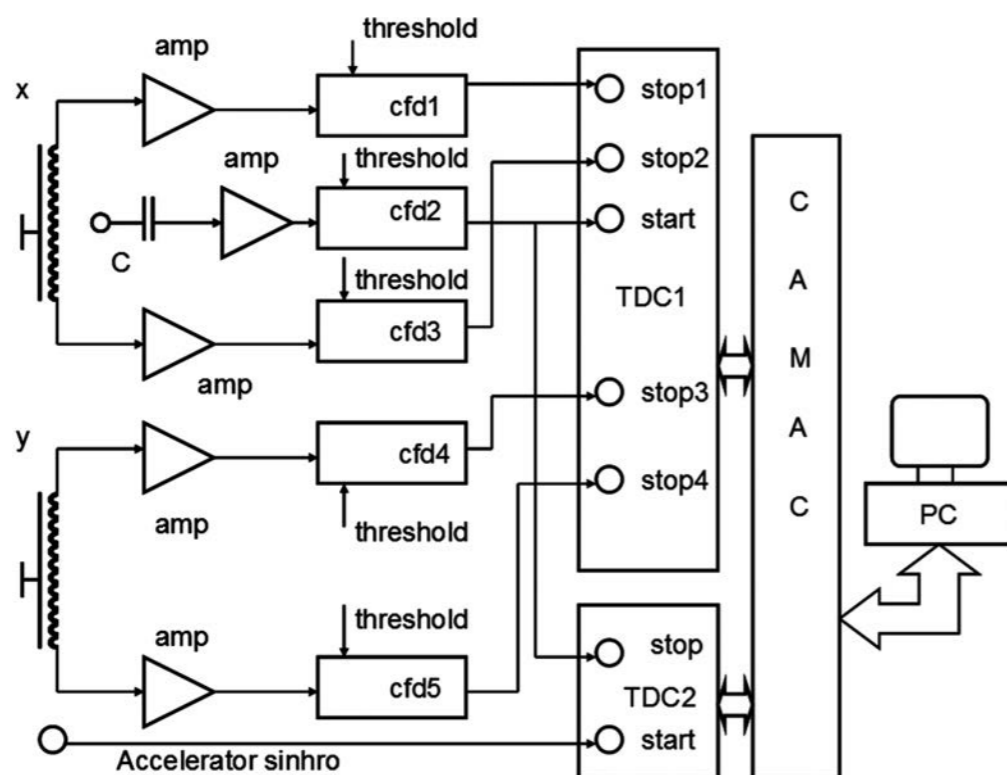


Рис. 7. Структурная схема системы сбора данных

разования 4 мкс. Синхроимпульс ускорителя приходит на вход start время-цифрового преобразователя **TDC2**. Сигнал с анодной плоскости поступает на вход stop **TDC2**. Блок **TDC2** представляет собой одностоповый время-цифровой преобразователь с программируемым шагом измерения длительности. Блоки **TDC1** и **TDC2** размещены в крейте КАМАК и через контроллер КАМАК – PC связаны с компьютером.

Алгоритм измерения координат и времени пролета

Синхроимпульс ускорителя запускает **TDC2** и разрешает процесс измерения. Сигнал с анодной плоскости детектора приходит на вход стоп **TDC2** и останавливает часы **TDC2**. Таким образом, измеряется время от прихода синхроимпульса ускорителя до появления сигнала с анодной плоскости детектора. Появление сигнала с анодной плоскости запускает процесс измерения времени прихода сигналов от концов задержки координаты X. По разности времен прихода сигналов определяется координата X взаимодействия детектора с нейтроном. Аналогично определяется координата Y.

Усилитель формирователь

Модуль содержит малошумящий усилитель и формирователь со следующим порогом.

Параметры усилителя:

- Коэффициент преобразования $0.2 \text{ В} / 1 \text{ мкА}$;
- Динамический диапазон сигналов от 0.3 мкА до 4 мкА ;
- Время нарастания и время среза выходного импульса 10 нс ;

Параметры формирователя:

- Диапазон нижнего порога $0 \div 0.5 \text{ В}$;
- Диапазон верхнего порога $0 \div 2 \text{ В}$;
- Временное разрешение выходного импульса 170 пс ;

На Рис.8 приведена структурная схема усилителя-формирователя. Входной сигнал от конца линии задержки через высоковольтный конденсатор и $R1$ поступает на вход малошумящего усилителя $A1$. Резистор $R1$ и диоды $D1, D2$ образуют защиту усилителя. После усиления на усилителе $A1$ через цепочку $C1, R3$ поступает на вход масштабирующего усилителя $A2$. С выхода этого усилителя сигнал поступает на компа-

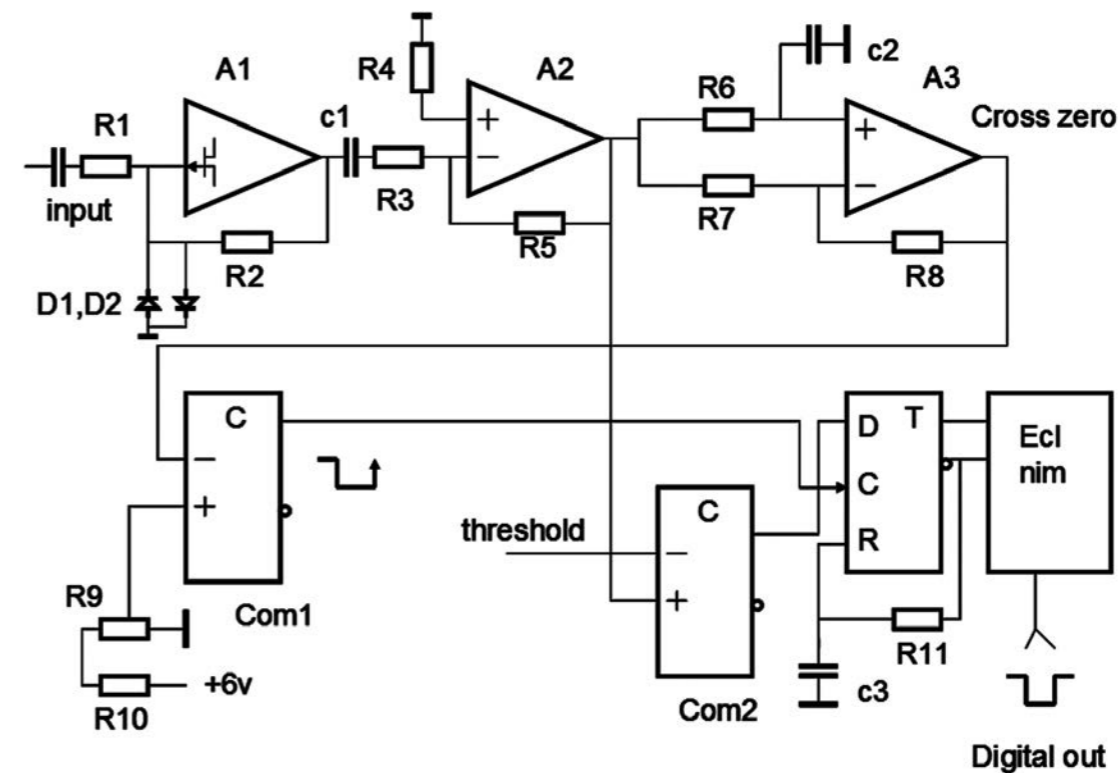


Рис. 8. Структурная схема усилителя-формирователя

ратор *Com2* и на каскад на операционном усилителе *A3*. На усилителе *A3* реализован детектор выделения нуля. На положительный вход сигнал с выхода *A3* подается через задержку, а на инвертирующий без задержки. Задержка (*R6, C2*) обеспечивает привязку к вершине импульса. Далее проинтегрированный импульс подается на компаратор *Com1*. Подстройкой уровня напряжения (порог) достигается наименьшее разброс выходного импульса по величине задержки для различных амплитуд входного сигнала от детектора. Импульсный сигнал с выхода компаратора приходит на тактовый вход формирователя выходного импульса, организованного на *D* триггере (*T*). Длительность выходного импульса определяется цепью *C3, R11*. С выхода этого формирователя импульсный сигнал через преобразователь *ECL – NIM* поступает на выход модуля. Если сигнал с выхода усилителя *A2* превышает порог, заданный на компараторе *Com2* на информационном входе *D* триггера *T* возникает логическая единица, разрешающая работу выходного формирователя. Задним фронтом импульса компаратора *Com1* выходной формирователь запускается и вырабатывает выходной импульс.

На Рис 9. приведены гистограммы моделирования усилителя-формирователя с использованием программы *Microcap 9*. На верхней гистограмме показан импульс после усилителя *A2*. На средней гистограмме — работа детектора нуля. На нижней гистограмме — импульс на выходе компаратора *Com1*. Задний фронт отрицательного импульса имеет задержку, которая не зависит от амплитуды входного импульса.

Программное обеспечение

При разработке программного обеспечения для систем сбора данных на основе компьютера-контроллера *ККА2-РС* и контроллера *КАМАК* использовался большой опыт создания многоканальных быстродействующих установок и программных средств накопления и обработки данных для ядерно-физических экспериментов реального времени. Для связи с *КАМАК* используется 32-х разрядный контроллер, разработанный в ИЯИ РАН в Конструкторском отделе радиоэлектроники. Он присоединен к компьютеру через плату контроллера ветви, обеспечивающей обслуживание до 7 крейтов *КАМАК*.

Контроллер ветви работает под управлением специальной программы-драйвера на уровне ядра, которая обеспечивает максимально возможное быстродействие модулей. Драйвер, в свою очередь, взаимо-

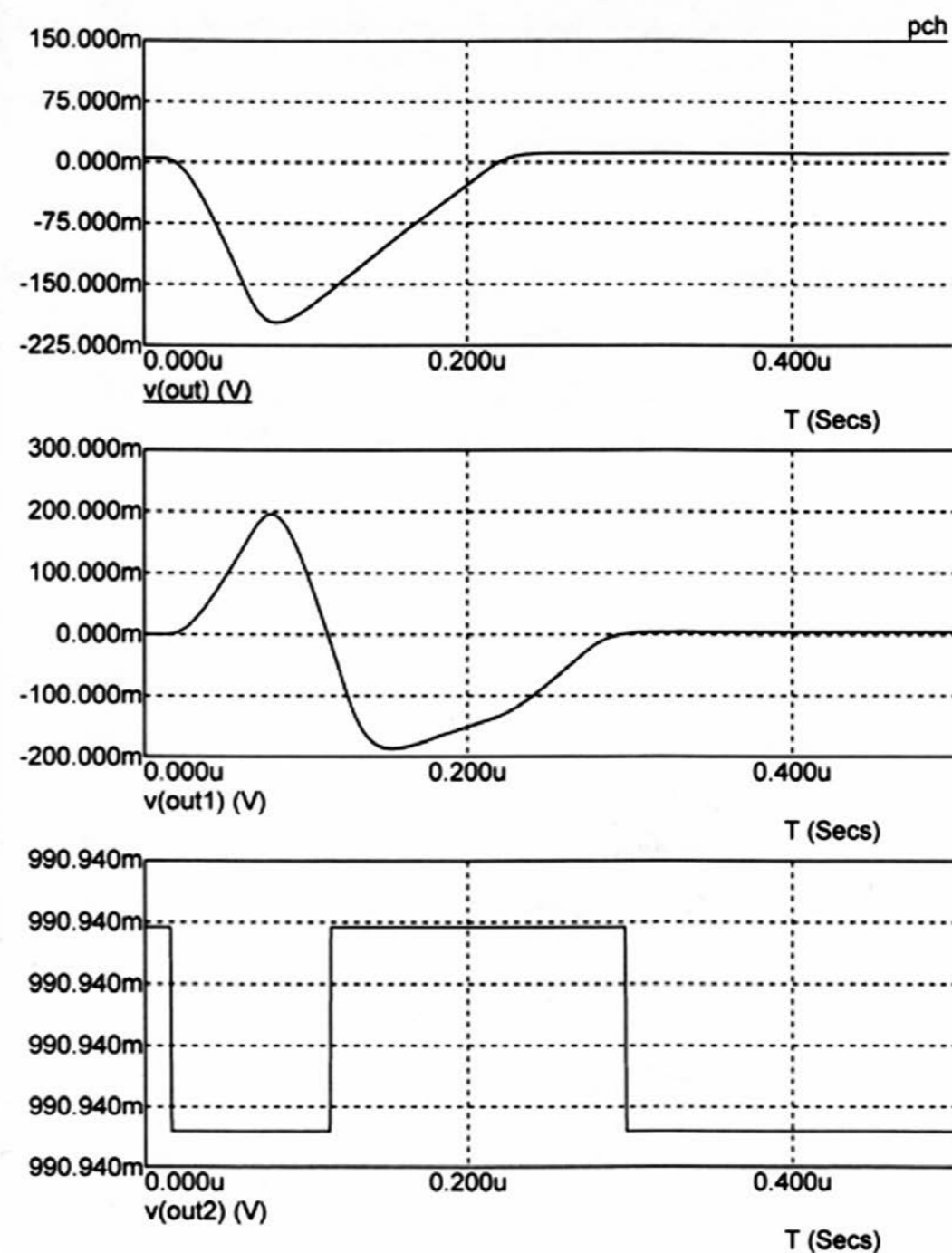


Рис.9. Временная гистограмма импульсов усилителя-формирователя

действует с библиотекой *КАМАК*, которая разработана для использования пользователями в программировании высокого уровня.

Для обеспечения высокой надежности и быстродействия программного обеспечения (ПО) разрабатывалось на платформе ОС *Linux*

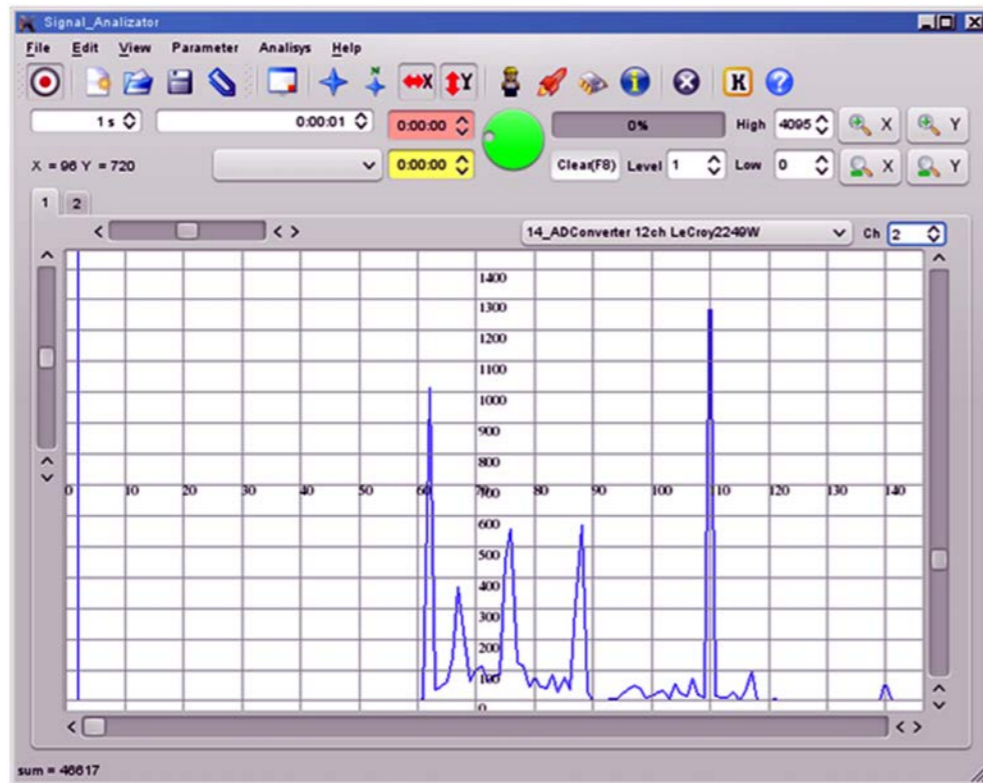


Рис.10. Графическая программная панель с измеренной информацией

openSUSE версий 11.0, 11.3, 11.4, 12.2, 12.3, 13.1, 13.2. В дальнейшем ПО было адаптировано также для ОС *Linux Ubuntu* версии 10.04, 11.10, 12.04, 14.04. В процессе разработки использовалась кроссплатформенная библиотека классов Qt4. ПО написано на объектно-ориентированном языке g++ (версия языка C++ для Linux). Данное ПО позволяет пользователям быстро изменять состав установки для решения конкретных задач, используя широкий набор модулей фирм CAEN, ORTEC, LECROY, PHILIPS, POLON, VEMTG и модулей, разработанных в конструкторском отделе радиоэлектроники института ядерных исследований РАН. При необходимости, пользователь может создавать новые прикладные программы на основе представленных текстов программ.

Для измерения времени для определения координат можно использовать 16-канальный дискриминатор со следящим порогом С808 с программируемыми порогами и время-цифровой преобразователь с одним стартом и 8-ю стопами С414 фирмы CAEN. Программная панель с измеренной информацией представлена на Рис.10. Можно также использовать модули TDC2228A фирмы LeCroy или ВЦП-8, разработанные в ИЯИ РАН.

Имеющееся оборудование для производства камер

На фотографиях Рис.11 и Рис.12 показан процесс производства элементов рам пропорциональных камер на установке для вакуумного литья. На фотографии Рис.12 показана пресс-форма для вакуумного литья стороны рамы из эпоксидного компаунда и кварцевого пе-



Рис 11. Процесс производства элементов рам

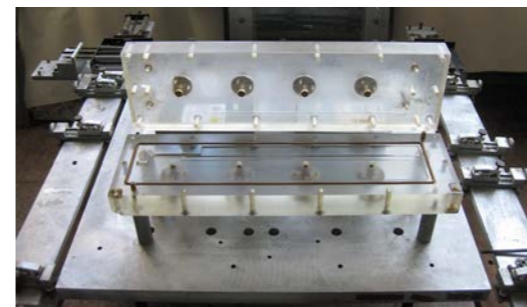


Рис 12. Пресс-форма для вакуумного литья в открытом состоянии

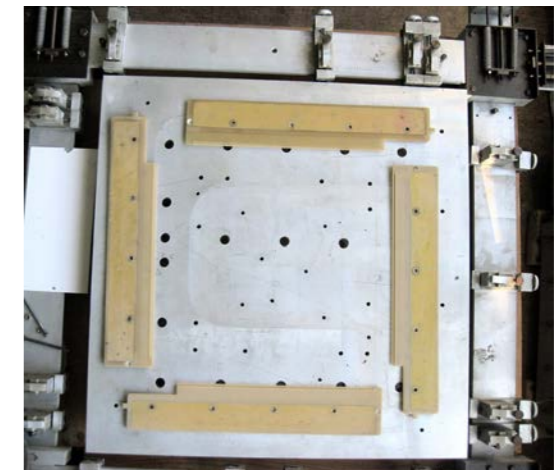


Рис 13. Стороны рамы пропорциональной камеры

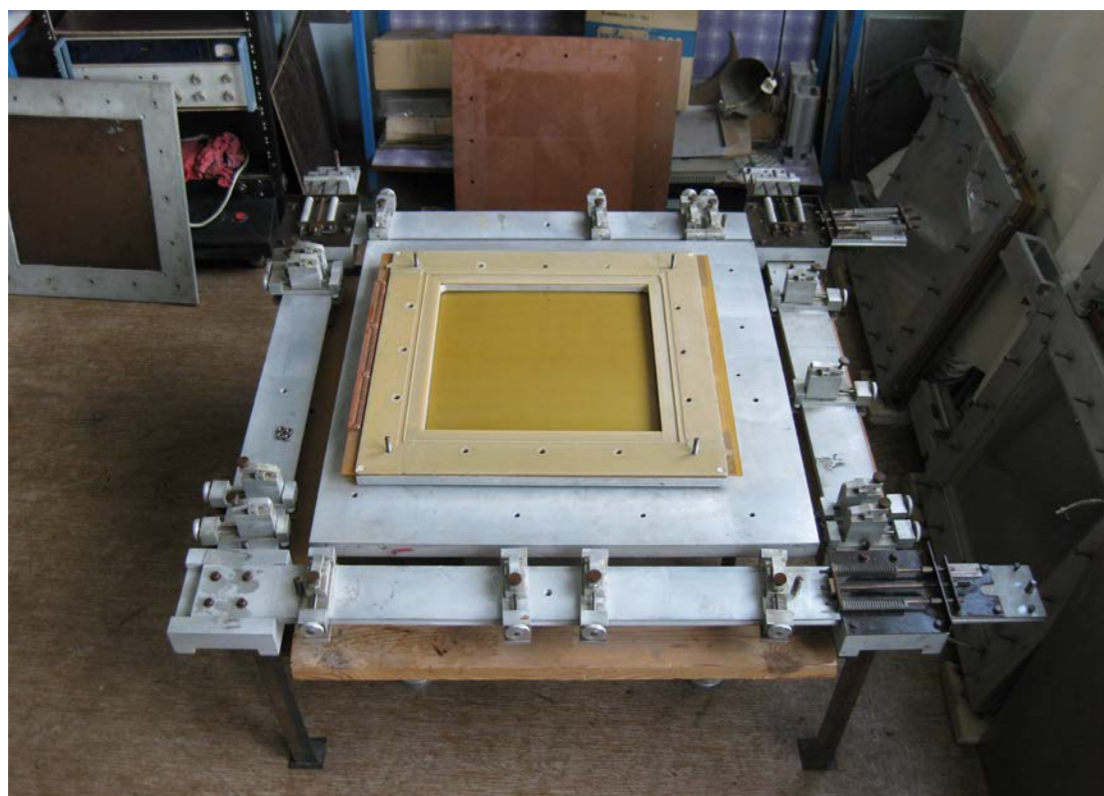


Рис 14. Стол для склейки рам. Устройство для растяжки пленки и изготовления рам с пленочными электродами. Размер стола 800 x 800 мм²

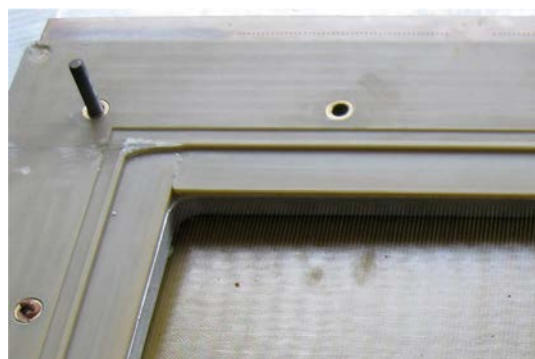


Рис 15. Угол рамы пропорциональной камеры с проволокой



Рис 16. Станок для намотки рам проволокой. На платформе размещается две рамы. Шаг намотки выбирается кратно 1 мм. Максимальная ширина намотки 800 мм

ска. На Рис.13 представлено изображение отливок сторон рамы на столе для склеивания. Рама склеивается из четырех сторон с приклеиванием печатных электродов, на которые распаиваются разъемы или непосредственно дискретные элементы распределенной линии задержки.

Стороны рамы изготовлены методом вакуумного литья в форме, изготовленной с точностью 20 мкм. Состав материала рамы: 50% эпоксидный компаунд K115 и 50% кварцевый песок. На Рис.14 и Рис.15 изображены склеенная рама на столе для склеивания проволочных и пленочных рам камер. На Рис.16 изображен станок для намотки рам проволокой. Натяжение проволоки регулируется автоматически за счет подачи напряжения на двигатель обратной намотки с точностью 5%.

Выводы

1. Имеющиеся изготовленные рамы с проволочками, оборудование и инфраструктура для изготовления таких рам позволяют создавать газовые позиционно-чувствительные детекторы медленных нейтронов рабочей площадью 400 × 400 мм²;
2. Пространственное разрешение такого детектора будет составлять 1,6 мм, относительное разрешение 0,004;
3. Эффективность регистрации нейтронов такого детектора будет составлять ~40% для длины волны 4А при имеющемся в распоряжении количестве газа;
4. Разработаны электроника сбора данных и система регистрации на основе КАМАК
5. Разработано программное обеспечение к системе сбора данных.

Список литературы

1. Аксенов В.Л. Нейтронография купратных высоко-температурных сверхпроводников // Успехи Физических Наук. 2002. Т. 172, № 6. С. 701-705.
2. Тарнавич В.В., Волегов А.С., Лотт Д., Матаух С., Воробьев А., Олешкевич А., Григорьев С.В. Структурные и магнитные свойства гольмий-иттриевой сверхрешетки // Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исслед. 2014. № 10. С.19–25.
3. Lauter-Pasyuk V., Lauter H.J., Gordeev G.P., Muller-Buschbaum P., Toperverg B.P., Jernnikov M. and Petry W. Nanoparticles in Block-Copolymer Films Studied by Specular and Off-Specular Neutron Scattering // Appl. Phys. A. 2003. V. 19. Suppl. P.7783-7788.
4. Р. А. Садьков, В. С. Литвин, А. В. Гулютин, А. И. Харьковсий, А. А. Алексеев, В. П. Глазков, С. Н. Аксенов, M-S. Arravou, A. I. Ioffe Магнитные, нейтроно- и рентгенографические исследования образования наночастиц в структуре немагнитного сплава 40ХНЮ. Проблемы ФТТ, Научная сессия НИЯУ МИФИ-2011. Том 2.
5. B. Grabcev, M. Balasoiu, D. Bica and A. I. Kuklin. «Determination of the Structure

- of magnetite particles in a ferrofluid by small angle neutron scattering method.» *Journal of Magnetohydrodynamics*, 1994, V. 30, P. 156-162.
6. Smith J. C., Knelle G. R. Combination of Neutron Scattering and Molecular Dynamics to Determine Internal Motions in Biomolecules. *Molecular Simulation* (1993) V.10. P. 363-375.
 7. Efremov R., Shiryaeva G., Bueldt G. et al. SANS investigations of the lipidic cubic phase behaviour in course of bacteriorhodopsin crystallization // *J. of Cryst. Grow.*, 2005, V. 275. P. 1453–1459.
 8. Uhrikova D., Kucerka N., Islamovet A. al. Small angle neutron scattering study of the lipid bilayer thickness in unilamellar dioleoylphosphatidylcholine liposomes prepared by the cholate dilution method: n decane effect. *Biochim. Biophys. Acta.* 2003. V. 78411. P. 1–4
 9. Tian LiChao, Chen YuanBo, Tang Bin, Zhou JianRong, Qi HuiRong, Liu RongGuang, Zhang Jian, Yang GuiAn, Xu Hong, Chen DongFeng and Sun ZhiJia. Study on the imaging ability of the 2D neutron detector based on MWPC *Science China Physics // Mechanics and Astronomy*. 2013. V. 56, iss. 10. P. 1882-1886.
 10. Shaikh A.M., Desai S.S. and Patra A.K. Two-dimensional position sensitive neutron detector // *P. Ramana journal of Indian Academy of Sciences physics*. 2004. V. 63, No. 2. P. 465–470.
 11. Fried J., Harder J.A., Mahler G.J., Makowiecki D.S., Mead J.A., Radeka V., Schaknowski N.A., Smith G.C. and B. Yu. A Large, High Performance, Curved 2D Position-Sensitive Neutron Detector // *Nucl. Instrum. & Meth. A*478. 2002. P. 415-419.
 12. Knott R.B., Smith G. C., Watt G. et al. A large 2D PSD for thermal neutron detection // *Nucl. Instr. Meth. A*, 1997. 392: 62–67.
 13. Заневский Ю.В. // *ПТЭ*. 1992. №5. С. 44.
 14. Белушкин А.В., Богдзель А.А., Журавлев В.В., Кутузов С.А., Левчановский Ф.В., Литвиненко Е.И., Че ЛиЕн, Пантелеев Ц.Ц., Приходько В.И., Черников А.Н., Чураков А.В., Швецов В.Н. Разработки газонаполненных позиционно-чувствительных детекторов тепловых нейтронов в ЛНФ ОИЯИ.
 15. Андреев В.А., Ганжа Г.А., Иванов Е.А., Ильин Д.С., Крившич А.Г., Надточий А.В., Рунов В.В., Соловей В.А., Шабанов Г.Д. *ФТТ* 2010. Т. 52, вып.5. С. 964-968.
 16. <http://www.denex-gmbh.de/detektoren.php?sprache=eng>
 17. Orban J. , Cser L., Rosta L., Torok Gy., Nagy A. Design and experimental results of a large, position sensitive, multi-wire prototype detector developed at BNC // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 632 (2011) 124–127.
 18. Андреев В.А., Гаврилов Г.Е., Крившич А.Г., Малыгина Н.М., Мезенцева Т.Б., Патричев С.К., Сокольская Р.П., Ясюкевич М.А. Принципы расчета и конструирования больших пропорциональных камер с высокой однородностью коэффициента газового усиления. Препринт ЛИЯФ №1128. 1985.