

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

18-86-170

Ю.С.Анисимов, Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов,  
И.Кнюрек\*, Л.Моучка\*, Т.Нэтушил\*, Л.Пеллар\*,  
В.Д.Пешехонов, Л.П.Смыков, С.П.Черненко

**УСТАНОВКА**

**ДЛЯ ЦИФРОВОЙ НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ  
НА ОСНОВЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ  
ЛАВИННОЙ КАМЕРЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Направлено в Оргкомитет Международной конференции  
по проволочным камерам (Вена, Австрия,  
25-28 февраля 1986 г.)

---

\* Проектно-производственная база НИИ, Прага, ЧССР

**1986**

## ВВЕДЕНИЕ

Нейтронная радиография — один из методов неразрушающего контроля материалов, используется в тех случаях, когда принципиально невозможно добиться результатов с помощью рентгеновской радиографии или других методов. В основном в нейтронографии применяются пучки тепловых нейтронов с малой расходимостью и с интенсивностью  $10^2 \div 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Поток нейтронов сопровождается интенсивным  $\gamma$ -фоном в широком энергетическом диапазоне, который влияет на качество нейтронной радиограммы.

Как правило, для нейтронной радиографии обычно используют: нейтронно-чувствительный сцинтиллятор с фотографической пленкой или с электронно-оптическим преобразователем; тонкослойный конвертор нейтронов в сочетании с фотопленкой или с трековым детектором. В качестве конвертора тепловых нейтронов применяются соединения, содержащие изотопы  $^6\text{Li}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{155,157}\text{Gd}$ ,  $^{164}\text{Dy}$ ,  $^{113}\text{Cd}$  и  $^{115}\text{In}$ . Основными параметрами системы изображения в нейтронной радиографии являются пространственное разрешение, эффективность регистрации нейтронов и чувствительность к гамма-фону.

Выбор системы зависит от конкретной задачи и используемого источника нейтронов.

В радиографии в последнее время применяются цифровые способы обработки изображения с целью повышения качества и информативности метода. Для получения радиограмм непосредственно в цифровом виде газовые позиционно-чувствительные детекторы являются весьма перспективными. С целью разработки методики цифровой нейтронной радиографии при интенсивностях нейтронного пучка  $10^2 \div 10^5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  была предложена установка на основе газового позиционно-чувствительного детектора с выводом изображения на телевизионный дисплей. Применение обычной МПК с конвертом из  $^{10}\text{B}$  не удовлетворяло требованиям высокого пространственного разрешения<sup>/1/</sup>. Требуемое обычно пространственное разрешение не должно быть хуже 1 мм (FWHM), система должна обладать низкой чувствительностью к гамма-излучению и быстродействием около  $10^5 \text{ с}^{-1}$ .

На основании опыта работы с многоступенчатой лавинной камерой низкого давления<sup>/2,3/</sup>, а также результатов, полученных авторами<sup>/4/</sup>, была предложена и разработана установка для цифровой нейтронной радиографии на основе многоступенчатой лавинной камеры низкого давления.

## 1. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для цифровой нейтронной радиографии состоит из (рис.1) многоступенчатой лавинной камеры (МСЛК) низкого давления с системой газового обеспечения, электроники съема координатной информации, системы сбора и обработки данных с помощью мини-ЭВМ, системы представления данных, а также комплекта программ, обеспечивающих работу установки.

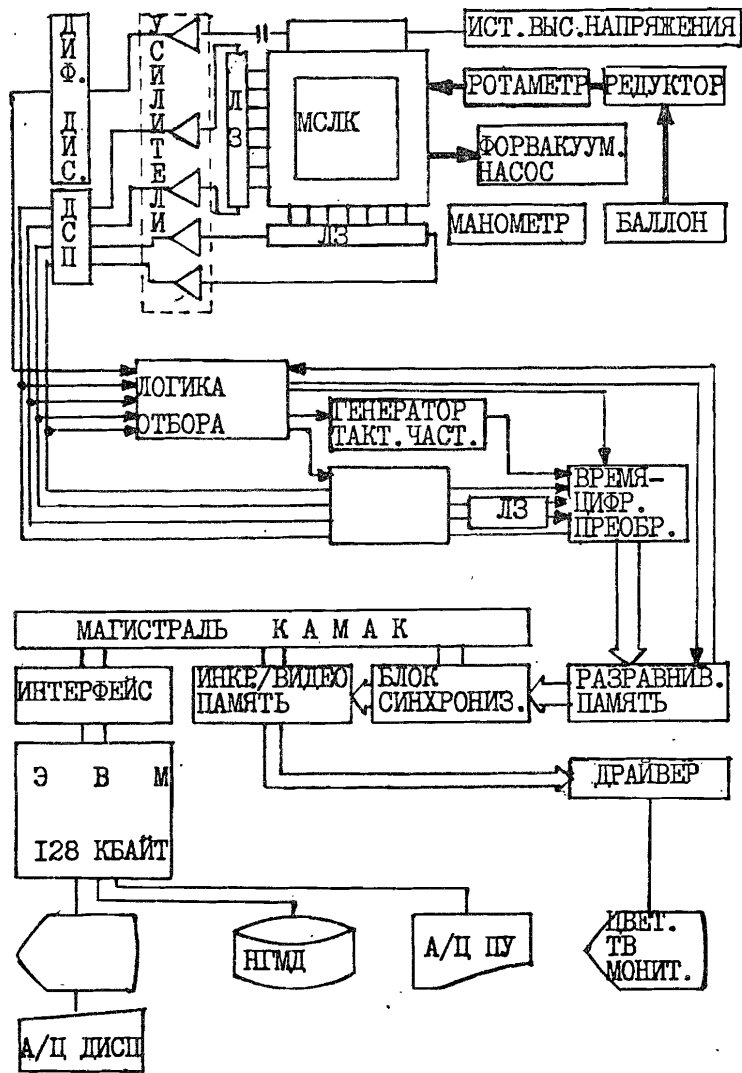


Рис.1. Общая схема установки. ДСП — дискриминатор со следящим порогом, ЛЗ — линия задержки.

### 1.1. Детектор

Детектор представляет собой МСЛК низкого давления, помещенную в вакуумный бокс  $520 \times 460 \times 85 \text{ мм}^3$  с входным окном  $230 \times 180 \text{ мм}^2$ . Схематичный разрез детектора показан на рис.2. Стандартная МПК, состоящая из катодов  $C_x$  и  $C_y$  и анода А (зазор анод-катод 4 мм), дополнена предусилительным (РТ) и дрейфовым ( $ТС_x$ ) промежутками шириной 3 и 5 мм соответственно. Анодная плоскость намотана проволокой из золоченого вольфрама диаметром 20 мкм с шагом 2 мм, остальные электроды намотаны проволокой из бериллиевой бронзы диаметром 50 мкм с шагом 1 мм, причем электрод Т намотан в обоих направлениях. Конвертор тепловых нейтронов располагается на электроде Р и представляет собой пластину из алюминия размером  $230 \times 180 \text{ мм}^2$  толщиной 2 мм с напыленным со стороны электрода Р слоем бора толщиной 6 мкм и содержанием 86% изотопа  $^{10}\text{B}$ .

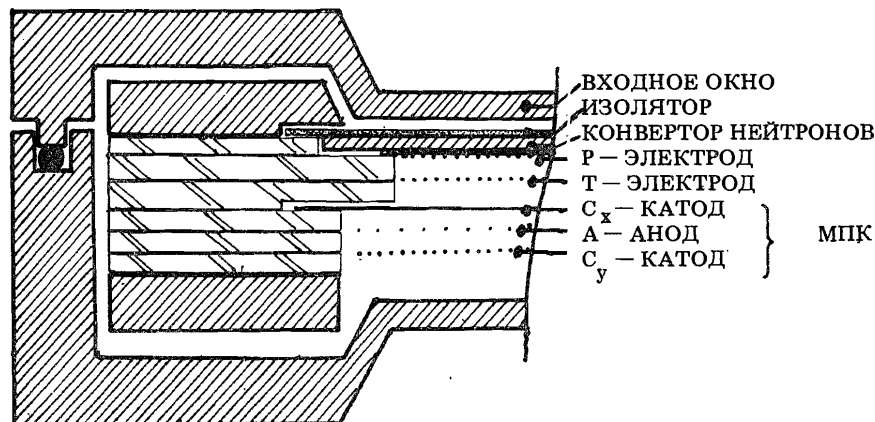


Рис.2. Схематичный разрез детектора: Р — электрод, Т — электрод,  $C_x, C_y$  — катоды, А — анод МПК.

Детектор регистрирует  $\alpha$ -частицы, вылетающие в предусилительный промежуток (РТ) с энергией до 1,77 МэВ в результате реакции  $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$ . МСЛК низкого давления, обладающая свойством электронной фокусировки<sup>15/</sup>, позволяет с высокой точностью определять координаты входа  $\alpha$ -частиц в детектор, практически независимо от угла входа.

Электрод Р с конвертором, находящимся под отрицательным потенциалом  $U_p$ , изолирован от алюминиевого входного окна. На электрод Т подается отрицательный потенциал  $U_T$ , на анод А — положительный  $U_A$ . Рабочее давление в боксе поддерживается простой и надежной системой продува. Газ натекает через игольчатый натека-

тель при одновременной откачке бокса форвакуумным насосом. Координатная информация снимается с помощью линии задержки (ЛЗ) с погонной задержкой 2,2 нс/мм.

### 1.2. Электроника установки

Общая схема электроники регистрации, обработки и визуализации данных показана на рис.1. Сигналы с детектора поступают через маломощные предусилители и усилители на дискриминатор со следящим порогом для катодных и на дифференциальный дискриминатор для анодных сигналов. Сигналы с дискриминатора поступают во временной процессор, который осуществляет проверку наличия всех пяти сигналов в соответствующем временном интервале, устраняет из обработки многократные события и формирует управляющие сигналы для время-цифрового преобразователя (ВЦП), генератора тактовых импульсов и разравнивающей памяти (РП). Шаг квантования временного интервала может устанавливаться равным 2 или 4 нс, что при съеме с обоих концов ЛЗ соответствует 0,45 или 0,9 мм.

Координатная информация каждого отобранного события (2x8 бит) поступает в РП и через блок синхронизации в инкрементную память емкостью 256x256x16 бит. Инкрементная память и блок синхронизации соединены также через магистраль КАМАК с мини-компьютером JLSI-21 фирмы ENERTEC-SCHLUMBERGER, который содержит плату компьютера LSI 11/23 фирмы DEC с памятью 2x64K 16-разрядных слов, интерфейс LSI — КАМАК, интерфейс накопителя на гибких магнитных дисках RX-02 фирмы DEC. Периферийными устройствами являются также А/Ц печать TI-800 фирмы TEXAS INSTRUMENTS, терминал TESLA CM-7202. Компьютер через магистраль КАМАК управляет установкой, сбором данных и осуществляет обработку накопленной цифровой картины, рассчитывает статистические параметры, а также проверяет работоспособность некоторых блоков электроники.

### 1.3. Программное обеспечение

Создано программное обеспечение основных режимов работы установки.

Оператору предлагается список следующих программ:

— программой INC задается время накопления данных в инкрементную память;

— программа WRITE WIND осуществляет перенос всего массива информации или его части из инкрементной памяти или гибкого диска в память ЭВМ;

— программа READ WIND позволяет производить запись всего изображения или ее части из памяти компьютера на гибкий диск или в видеопамять. При этом одновременно производится линейная трансформация оцифрованного изображения  $\langle I_{\min}, I_{\max} \rangle \rightarrow \langle J_{\min}, J_{\max} \rangle$ , где  $I_{\min}, I_{\max} (0 \leq I_{\min} < I_{\max} \leq 64K)$  — количество событий, записанных в ячейках первоначального изображения  $J_{\min}, J_{\max} (0 \leq J_{\min} < J_{\max} \leq 64K)$  — их значения после трансформации;

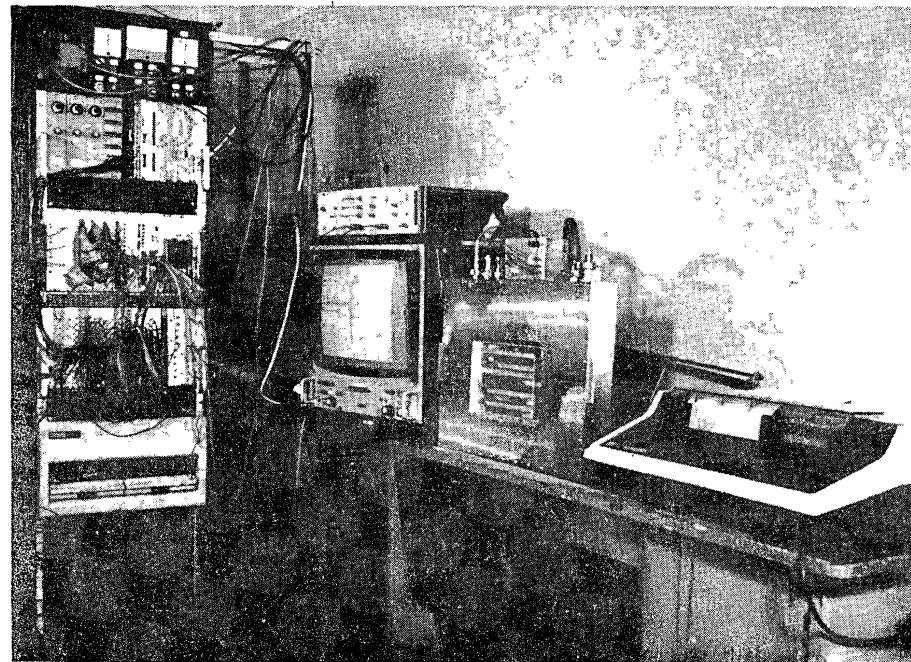


Рис.3. Общий вид установки во время стендовых испытаний.

— программа CURSOR позволяет перемещать курсор по экрану дисплея, при этом выводятся координаты курсора и содержание данной ячейки на терминал;

— программа PROFIL выводит на дисплей в заданном масштабе и цвете гистограмму заданной строки или столбца изображения;

— программа FRAM служит для контрастной засветки нужной области на дисплее и дает возможность задания координат области для цифровой обработки;

— программа HISTO предназначена для статистической обработки и построения гистограмм распределения количества ячеек памяти в зависимости от содержания ячейки, причем количество событий лежит в интервале между двумя заданными уровнями, а количество интервалов может достигать 200;

— программа STAT позволяет для заданной части картины находить минимальное и максимальное значение в ячейках и рассчитать среднее значение для всех ячеек изображения.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Стендовые испытания как самого детектора, так и всей установки проводились в помощь коллимированного  $\alpha$ -источника  $^{210}\text{Po}$  и (Pu-Be)-источника нейтронов. В дальнейшем были проведены испытания всей установки на экспериментальном реакторе нулевой мощности в ЧССР с интенсивностью в радиографическом пучке до  $10^5$  тепловых нейтр./см<sup>2</sup> при мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения до 90 Р/ч, коллимация нейтронного пучка L:D равна 43.

### 2.1. Результаты стендовых испытаний

Был определен рабочий режим детектора. При давлении 5-6 Тор изобутана<sup>/3/</sup> коэффициент газового усиления детектора максимален и достигаемое соотношение сигнал/шум для катодных сигналов достаточно для получения хорошего пространственного разрешения при работе в середине плато счетных характеристик детектора, длина которых составляет для анодного и предусилительного напряжения 100 и 90 В соответственно. Обеспечивается стабильный режим работы детектора при интенсивностях  $\alpha$ -частиц  $10^2$  событий мм<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup> через несколько минут после начала работы системы газобеспечения. Шумы детектора в рабочем режиме не превышают 0,02 импульса · см<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup>. Пространственное разрешение измерялось с помощью коллимированного пучка  $\alpha$ -частиц и составляло величину менее 0,2 мм (FWHM). Для точечного неколлимированного  $\alpha$ -источника, помещенного непосредственно на предусилительный электрод P, оно составляло 0,5 мм (FWHM).

Была проверена однородность коэффициента усиления детектора по площади, разброс не превысил  $\pm 3\%$  на 90% площади. При определении однородности, сканированием всей площади детектора узкоколлимированным пучком  $\alpha$ -частиц, среднеквадратичное отклонение счета анодных сигналов составляло меньше 1%. С помощью маски с рядом отверстий была определена нелинейность детектора вдоль обеих координат, она не превышала 0,4%. С помощью  $\gamma$ -источника  $^{241}\text{Am}$  оценена квантовая эффективность детектора, которая составила величину менее  $10^{-6}$ . Общий вид установки во время стендовых испытаний приведен на рис.3.

### 2.2. Испытания на радиографическом пучке нейтронов

При испытаниях на ранее описанном пучке нейтронов были исследованы режимы работы детектора при регистрации тепловых нейтронов, сняты основные характеристики детектора и установки; получены радиограммы нескольких объектов.

В пучках тепловых нейтронов была определена эффективность установки, которая составила величину, несколько превосходящую 3%. Разрешающую способность детектора иллюстрирует рис.4, где виден профиль пучка нейтронов, проходящих бар-фантомом из полос кадмия толщиной 1 мм и шириной 2 мм, расположенных на расстоянии 2 мм друг от друга. При этом было получено пространственное разрешение лучше 0,9 мм (FWHM).



Рис.4. Профиль нейтронного пучка после его прохождения через фантом из кадмия. (Стрипы шириной 2 мм с шагом 2 мм, толщина кадмия 1 мм); Получено на многоканальном анализаторе; цена канала 0,22 мм. Рабочий режим детектора:  $p = 5$  Тор;  $U_A = 460$  В;  $U_P = 530$  В;  $U_T = 50$  В.

Для определения чувствительности к  $\gamma$ -излучению была получена нейтронограмма, в которой 90% событий вызвано нейтронами и 10% событий сопутствующими нейтронному излучению  $\gamma$ -квантами. При этом поток нейтронов составил  $2 \cdot 10^3$  н · с<sup>-2</sup> относительно дозы сопутствующего  $\gamma$ -излучения 1 миллирентген. Обычно для традиционных методов<sup>/6/</sup> это соотношение составляет  $10^5$  н · см<sup>-2</sup>/миллирентген, это на два порядка хуже, чем в нашем случае.

На рис.5 показана радиограмма паяльника с трансформатором, полученная при суммарном потоке  $10^7$  н · см<sup>-2</sup>. Фотография сделана с экрана дисплея после цифровой обработки изображения трансформацией в 6 градаций зеленого цвета.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнивая разработанную методику с наиболее часто используемым прямым методом получения радиограмм с помощью сцинтиллятора, содержащего изотоп  $^6\text{Li}$  в сочетании с фотопленкой (наиболее чувствительный метод), можно сделать вывод, что оба метода обладают близкими параметрами. Требуемая для обеспечения конт-

растного отношения  $2D$  интенсивность потока нейтронов в традиционном методе составляет  $2 \cdot 10^5 \div 2 \cdot 10^6$  н·см<sup>-2</sup>, в нашем случае —  $4 \cdot 10^5 \div 2 \cdot 10^6$  н·см<sup>-2</sup>. Основное преимущество созданной установки — низкая чувствительность к  $\gamma$ -излучению. Заметим, что при использовании конвертора из полиэтилена, аналогичного используемому в [1], можно получить эффективность регистрации быстрых нейтронов, составляющую доли процента.



Рис.5. Радиограмма паяльника с трансформатором. Общая экспозиция  $10^7$  н/см<sup>2</sup>. Рабочий режим детектора:  $U_A = 460$  В;  $U_P = 530$  В;  $U_T = 50$  В. Трансформация изображения 800-2000 событий в ячейке в 6 градаций зеленого цвета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Valentine K.H. et al. IEEE Transaction on Nuclear Science, 1974, NS-21, p.178.
2. Абдушукуров Д.А. и др. ПТЭ, 1983, т.28, № 6, с.34.
3. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, P13-84-563, Дубна, 1984.
4. Breskin A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1984, 221, p.363.
5. Breskin A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 161, p.19.
6. Hawkesworth M.R. AERE preprint AEARE-R 9211, AERE Harwell, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 апреля 1986 года.

Анисимов Ю.С. и др.  
Установка для цифровой нейтронной радиографии  
на основе многоступенчатой лавинной камеры низкого давления

18-86-170

Для методических исследований возможностей радиографии с помощью тепловых нейтронов создана и частично исследована на нейтронном пучке ядерного реактора установка на основе многоступенчатой лавинной камеры низкого давления. Установка работает на линии с мини-ЭВМ LSI-11/23. Информация с детектора площадью  $230 \times 180$  мм накапливается в инкрементной памяти емкостью  $256 \times 256 \times 64$  К, результаты представляются на цветном дисплее. Детектор заполняется изобутаном при давлении 5 Тор, конвертором тепловых нейтронов служит слой бора толщиной 6 мкм, обогащенный  $^{10}\text{B}$  до 86%. Предварительные исследования показали возможность использования установки для целей нейтронной дефектоскопии. Эффективность регистрации тепловых нейтронов составляет величину не менее 3% при эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 60 кэВ менее  $10^{-6}$ . Пространственное разрешение для тепловых нейтронов лучше чем 0,9 мм, а дифференциальная неоднородность менее 0,8 мм.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Anisimov Ju.S. et al.  
A Device for Neutron Radiography  
with a Low-Pressure Multistep Avalanche Chamber

18-86-170

A device with a low-pressure multistep avalanche chamber for thermal neutron imaging was developed for neutron radiography research. It was tested on a neutronographic beam of the nuclear reactor. The device operates on-line with an LSI-11/23 minicomputer. Coordinate information on each neutron event from the detector ( $230 \times 180$  mm) is accumulated in a  $256 \times 256 \times 64$  K memory. A neutron radiograph is displayed by means of a colour display. The detector is flown with isobutane at 5 torr pressure. A  $6 \mu\text{m}$  thick boron layer enriched to 86 per cent in  $^{10}\text{B}$  is used as a convertor of thermal neutrons. Preliminary tests of the device make it possible to use it for nondestructive testing by means of thermal neutrons. The detection efficiency of thermal neutrons is better than 3 percent, while the detection efficiency of 60 keV gamma-quanta is less than  $10^{-6}$ . The space resolution for thermal neutrons is better than 0.9 mm (FWHM). The differential nonlinearity is less than 0.8 mm.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986