

Двухкоординатные сцинтилляционные детекторы нейтронов на основе твёрдых фотоумножителей и световодов

В.С. Литвин, В.Н. Марин, А. И. Ивашкин,
С.Х. Караевский, Д.Н. Трунов, С.Н. Аксенов,
Р.А. Садыков, В.Г. Недорезов

Институт ядерных исследований РАН, г. Москва

МОТИВАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СЧЕТЧИКОВ НЕЙТРОНОВ

- 1. Большой дефицит изотопа гелия и трудность покупки гелиевых счетчиков в связи с этим.
- 2. Утечка гелия из уже имеющихся счетчиков.
- 3. Высокая цена гелиевых счетчиков.

- Вариантом замещения гелиевых счетчиков является создание твердотельных счетчиков нейтронов на основе различных сцинтилляторов.
- Сцинтиллятор ZnS(Ag)/LiF представляет особый интерес благодаря огромному световыходу (1.6×10^5 фотонов/нейтрон), нечувствительности к гамма-излучению и относительной дешевизне. В то же время, непрозрачность ZnS(Ag)/LiF делает проблематичным съем сигнала с сцинтиллятора.
- Появление новых фотодетекторов – Гейгеровских лавинных фотодиодов (G-APD) или, иначе, кремниевых фотоумножителей (SiPM) открывает новые возможности в развитии сцинтилляционных нейтронных детекторов.
- В данной работе исследовалась возможность создания твердотельных детекторов нейтронов, с параметрами, аналогичными гелиевым трубкам. Разработаны детекторы на основе сцинтиллятора ZnS(Ag)/LiF и борного пластика. Создан прототип детектора, состоящий из ZnS(Ag)/LiF толщиной 0.4 mm и шириной 10 mm, световода из оргстекла размерами 3x10x200 mm³ и двух фотодиодов с чувствительной площадью 3x3 mm² (производство КЕТЕК Со.,

КОНСТРУКЦИЯ СЧЕТЧИКА НЕЙТРОНОВ

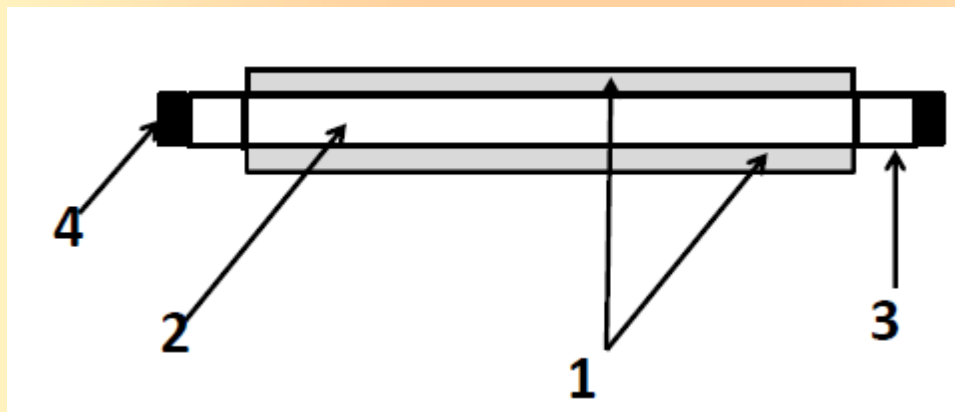


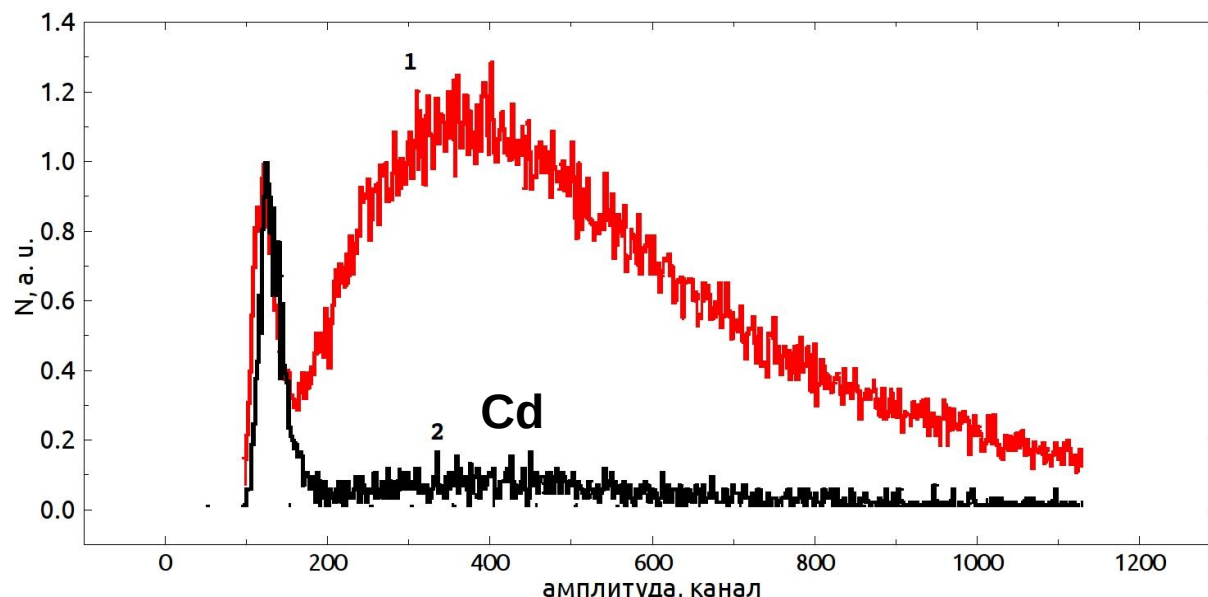
Схема детектора. 1- сцинтиллятор ZnS(Ag)/LiF ,
2- световод, 3-фокусирующая призма световода,
4- лавинный фотодиод.

ФОТОГРАФИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ



- Для повышения эффективности сцинтиллятор располагается с двух сторон световода.
- Вся конструкция обматывается тефлоновой лентой. Отметим, что сцинтиллятор здесь выполняет дополнительную функцию диффузионного отражателя.
- Толщина световода соответствует геометрическим размерам фотодиода. Поскольку размер чувствительной области фотодиода в несколько раз меньше ширины световода, на торцах световода используются фокусирующие призмы, собирающие свет на фотодиод.
- Высокий световыход сцинтиллятора ZnS(Ag)/LiF , высокая квантовая эффективность фотодиодов и прямая транспортировка света к фотодетекторам обеспечивают амплитуду сигналов на фотодиодах на уровне десятков фотоэлектронов.

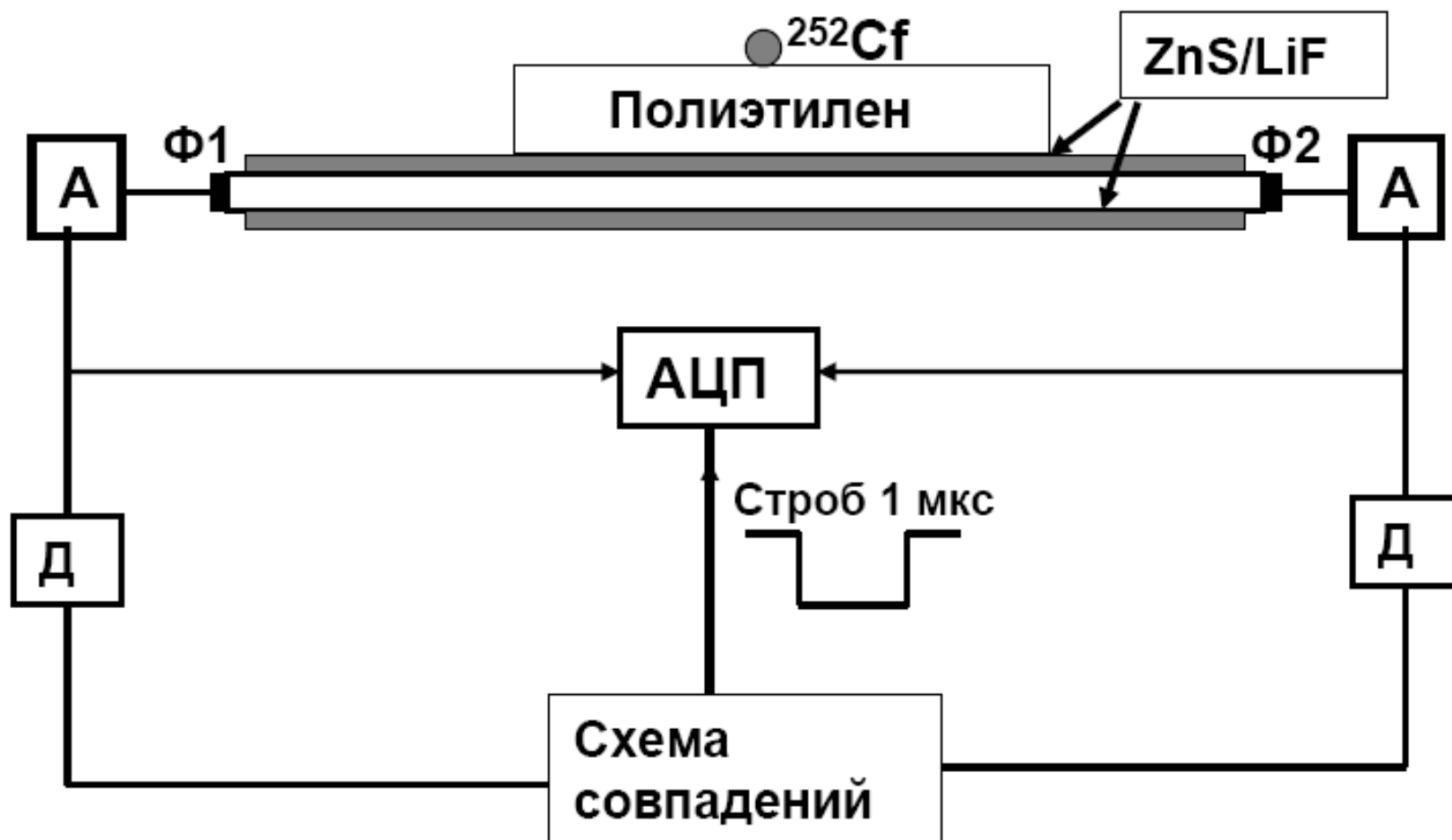
Результаты измерений амплитуды сигнала с одного из фотодиодов



Спектр амплитуд одного фотодиода, полученный от захвата нейтронов в сцинтилляторе ZnS/LiF (1) и в потоке, перекрытом кадмием (2).

Левый пик представляет случайные совпадения шумов двух фотодиодов с амплитудой больше 6 фотоэлектронов. Правый пик соответствует сигналу от захвата нейтронов на уровне 35 – 40 фотоэлектронов.

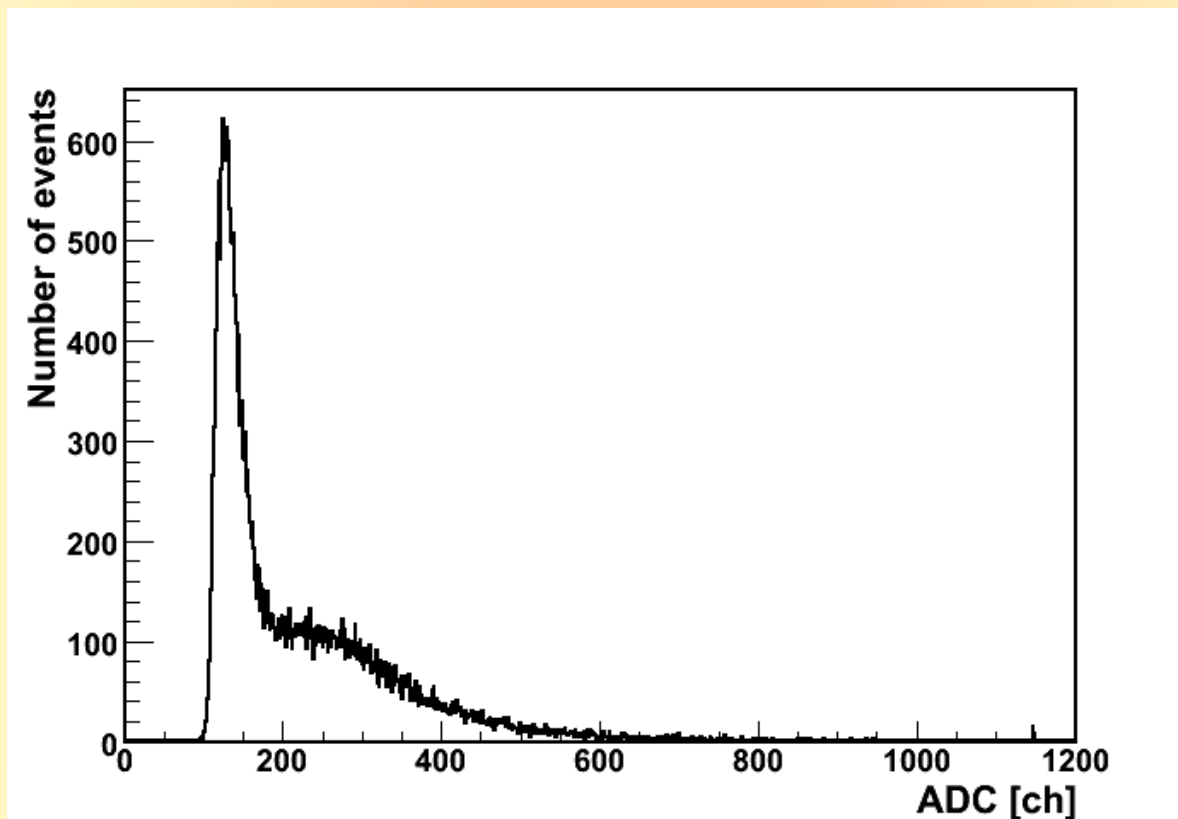
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТЕКТОРА



Выбор сцинтилляторов

1. Поскольку органический сцинтиллятор чувствителен к гамма-квантам, в лабораторных условиях невозможно дискриминировать факт регистрации нейтрона или гамма-кванта. Поэтому дополнительные исследования детектора данного типа необходимо провести на пучке замедленных нейтронов, где нейтроны идентифицируются по времени пролета.
2. Данное исследование желательно продолжить с новым видом органического сцинтиллятора, в который будут введены добавки, повышающие световыход на 20% и будет смещен спектр излучения в область 420 нм, где эффективность регистрации фотодетекторов максимальна.

Боросодержащий пластик



Спектр амплитуд от боросодержащего сцинтиллятора.

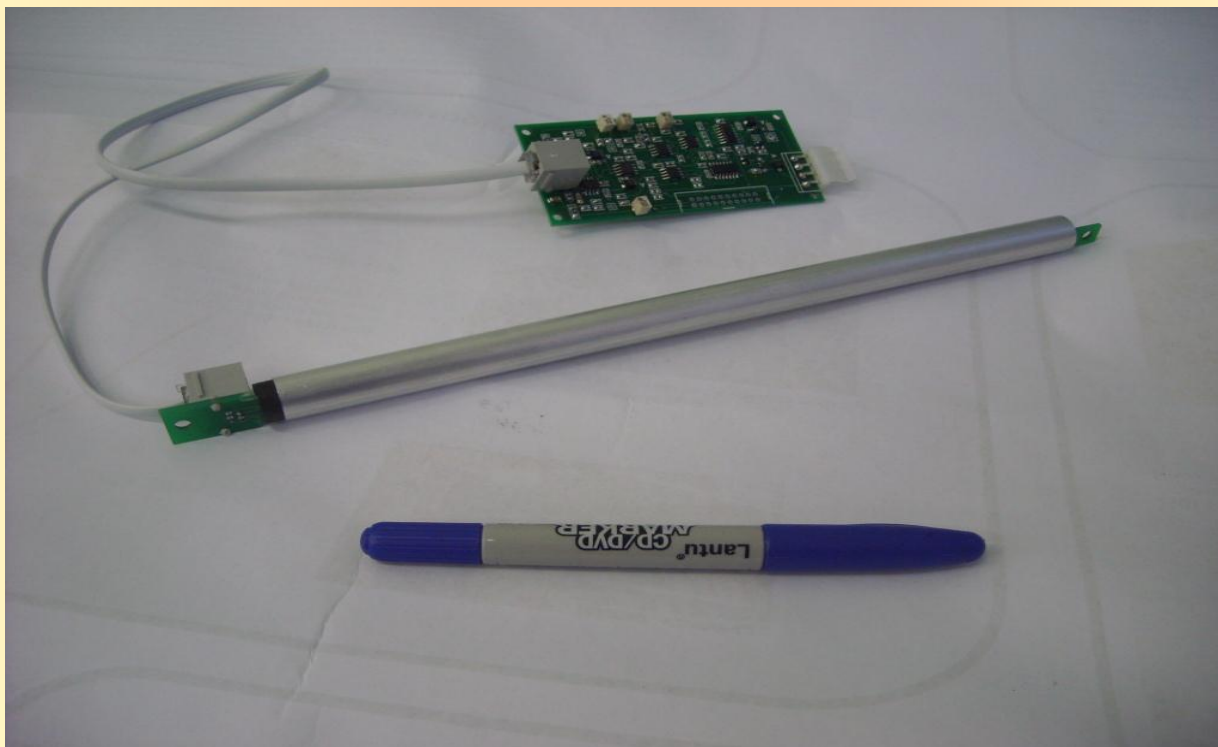
Левый пик представляет случайные совпадения шумов двух фотодиодов с амплитудой >6 фотоэлектронов.

Правый пик соответствует в среднем амплитуде ~ 20 фотоэлектронов.

ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ.

- Основные требования к конструкции детектора:
 1. Активная площадь детектора 10x200 мм².
 2. Поглотитель нейтронов – сцинтиллятор ZnS(Ag)/LiF с концентрацией лития, обеспечивающей максимальную эффективность регистрации нейтронов.
 3. Транспортировка сцинтилляционного света – оптическим световодом из оргстекла с оптимальной геометрией.
 4. Съём сигнала с детектора – двумя пиксельными лавинными фотодиодами с активной площадью 3x3 мм², размещёнными на торцах оптического световода.
 5. Усиление сигнала – зарядочувствительными усилителями со временем формирования 1 мкс.
 6. Эффективность регистрации нейтронов – не хуже 45%.
 7. Максимальная интегральная загрузка – не ниже 105/с.
 8. Временное разрешение – не хуже 1 мкс.

ФОТОГРАФИЯ СЧЕТЧИКА НЕЙТРОНОВ.



Сделаны счетчики с активной зоной 20 см и 10 см. вместе с соответствующими формирователями и кросс платой для подключения источника питания и выходных кабелей к блокам много стоповых TDC.

ВЫВОДЫ ПО РАЗРАБОТКЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО СЧЕТЧИКА НЕЙТРОНОВ

- В данной работе разработаны прототипы твердотельных детекторов нейтронов на основе сцинтилляторов, содержащих поглотитель нейтронов литий.
- Разработанные детекторы имеют параметры (размер активной области, эффективность регистрации нейтронов), аналогичные существующим гелиевым трубкам.
- Конструкция прототипа является легко масштабируемой по размерам и позволяет создавать детекторы с активной областью, сравнимой с гелиевыми счетчиками.
- На основе данной разработки возможно создание позиционно-чувствительных детекторов с пространственным разрешением ~ 1 мм. С этой целью необходимы дальнейшие исследования и оптимизация геометрии детектора.
- В действующих установках возможна замена гелиевых счетчиков на разработанные твердотельные счетчики и так же создание кольцевых детекторов на их основе.

Работы по изучению возможности изготовления позиционно чувствительного детектора на сцинтилляторе ZnS(Ag)+LiF и световоде из полистирола или оргстекла

- Позиционно чувствительные детекторы на основе ZnS(Ag)+LiF используют спектросмещающие волокна для сбора света с экрана.
- Положение волокна определяет координату взаимодействия нейтрона с экраном.
- Используется цифровая система определения координаты.
- Такие детекторы имеют большое число каналов сбора сигнала и его обработки.
- Светосбор одного спектросмещающего волокна составляет до 5 e^- , поэтому используют многоканальные фотоумножители.

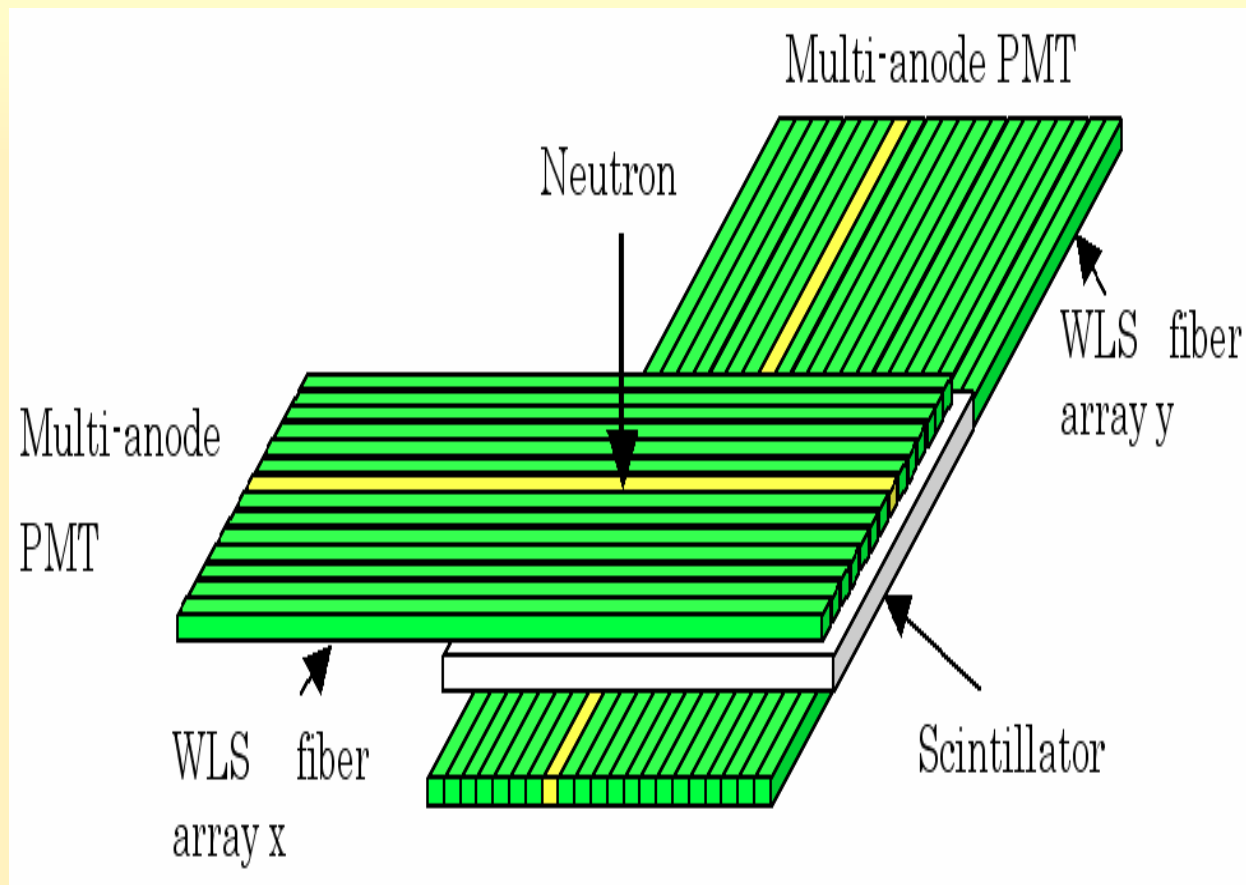
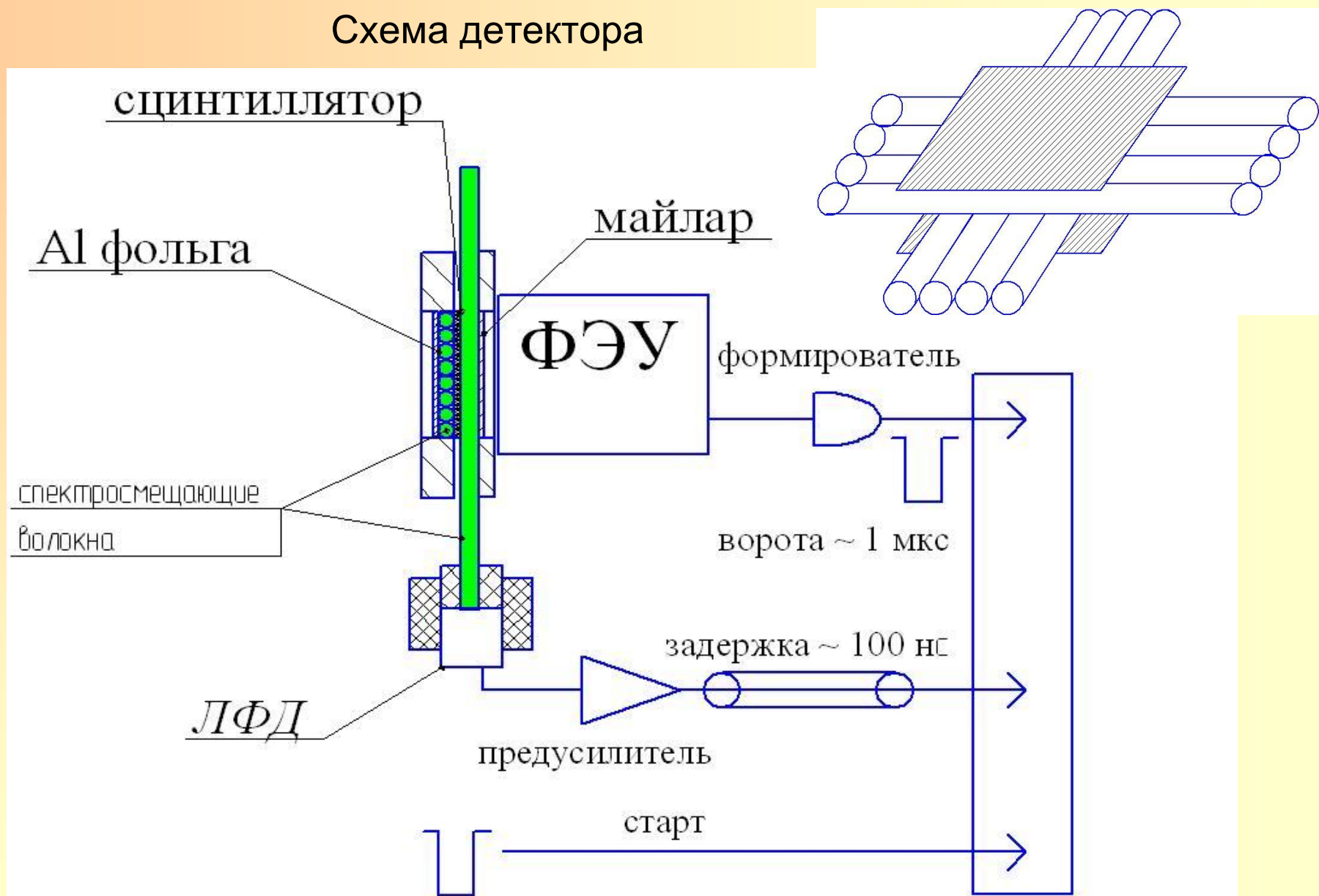


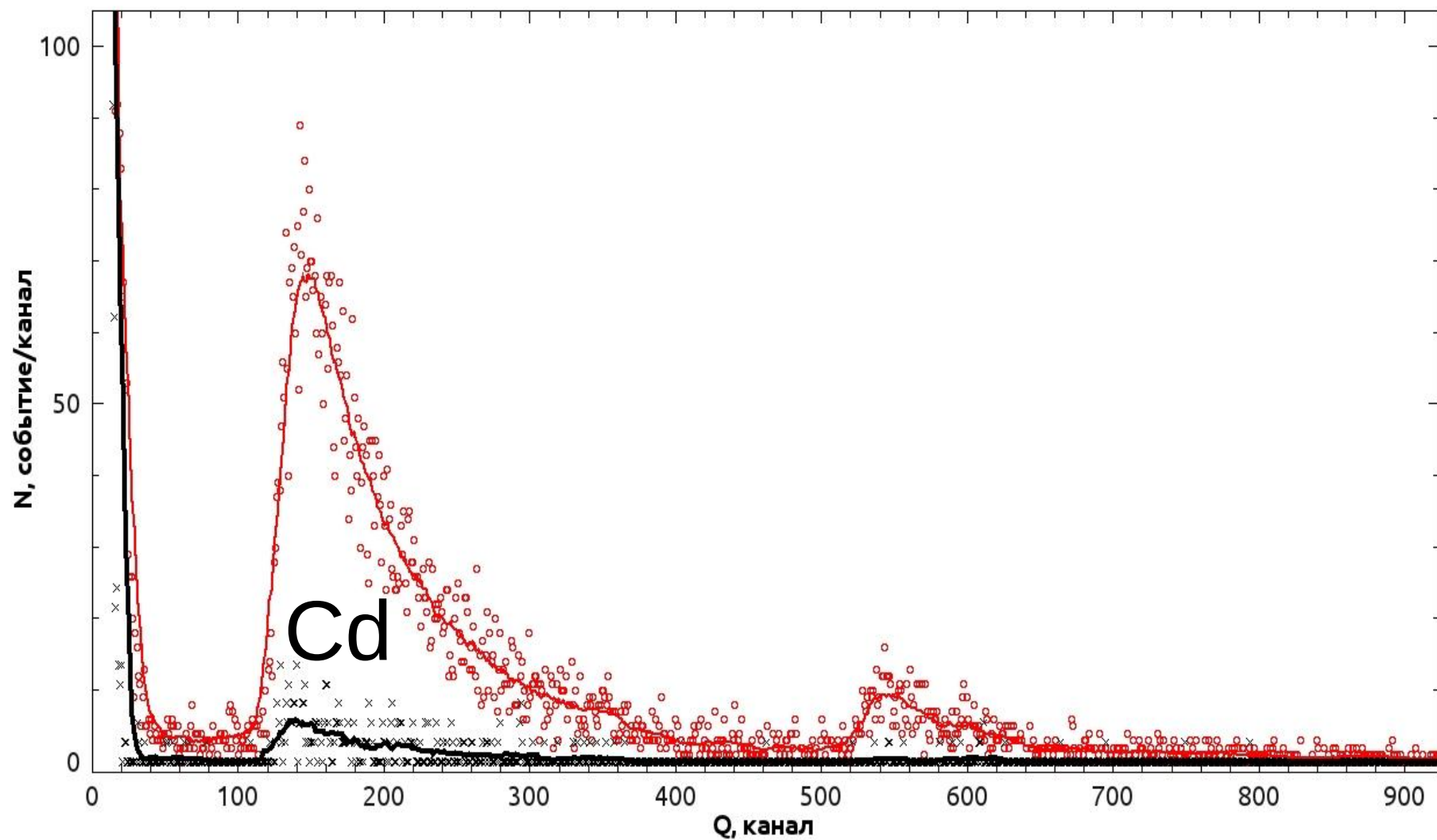
Схема ПЧД детектора, использующего спектросмещающие волокна и многоанодные фотоумножители.

Схема детектора

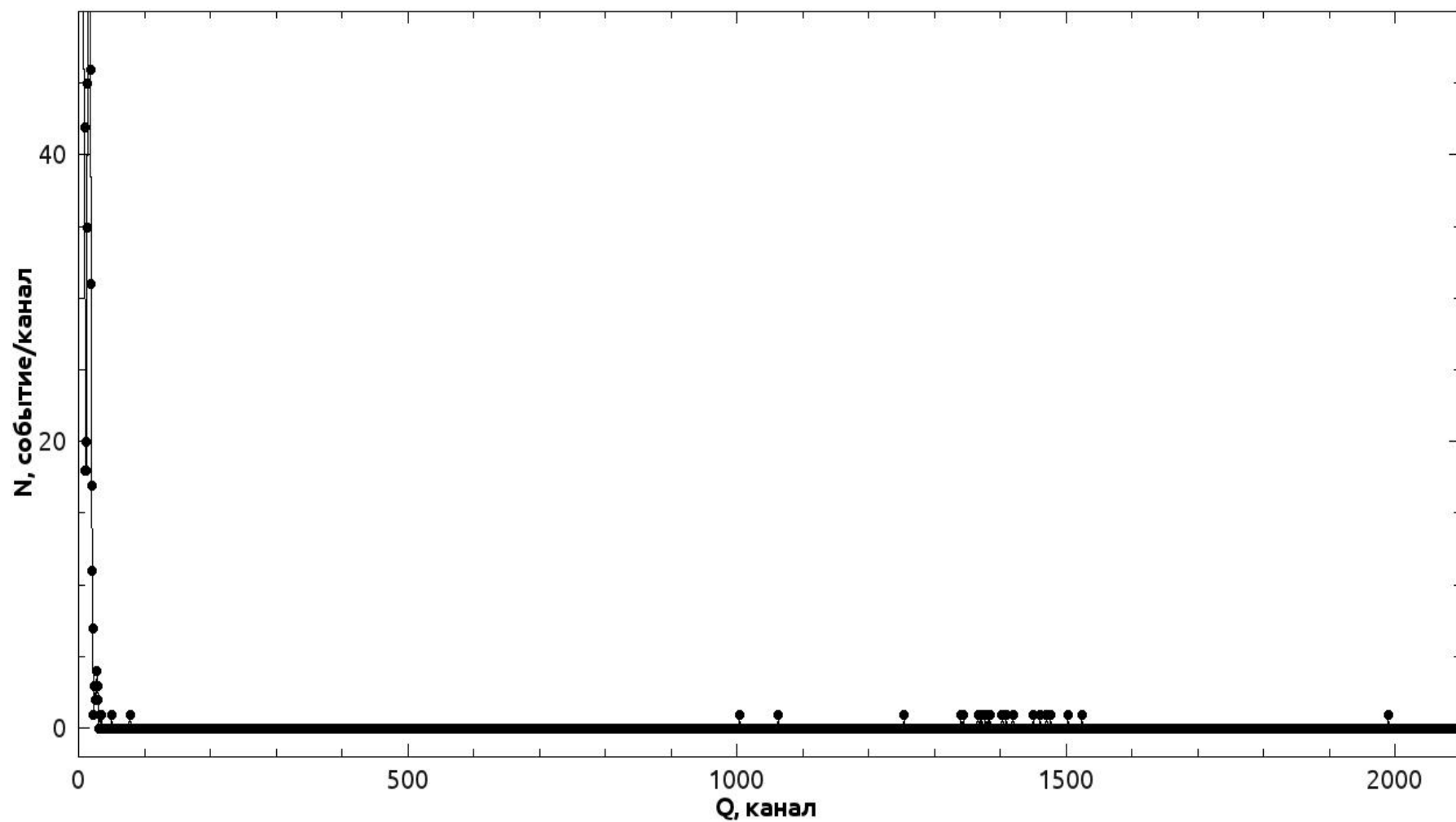


3ЦП + ВЦП

Результаты испытаний прототипа



Темновой счет детектора



ВЫВОДЫ

1. Созданы счетчики нейтронов с использованием оптических световодов и SiPM для съема сигнала со сцинтиллятора ZnS(Ag)/Li
 2. Разработан 2-координатный сцинтилляционный детектор нейтронов с использованием спектросмещающих волокон и SiPM. Планируется использование оптических световодов, как в п. 1
 3. Легкий, компактный, без высокого напряжения SiPM находятся вне пучка
1. Показана возможность применения SiPM со спектросмещающими волокнами
 2. Конструкция детектора является масштабируемой по размерам и позволяет создавать детекторы с активной областью, сравнимой с позиционно чувствительными гелиевыми счетчиками.
 3. Возможность времяпролетных измерений