

**Двухкоординатный гибридный детектор
медленных нейтронов
на основе твердого бора-10 и газовой камеры
размерами 128 × 128 мм²**

С. И. Поташев, Ю. М. Бурмистров, А. И. Драчев,
С. Х. Караевский, Г. В. Солодухов.

ФГБУН Институт ядерных исследований РАН
Москва

Конференция МУРОМЕЦ-2016, Гатчина, 2016, 30 сентября

Использование в физике

- Монитор нейтронного потока
 - Малоугловое рассеяние
1. В. Л. Аксенов. Нейтронография купратных высоко-температурных сверхпроводников. УФН (2002) том 172, № 6, стр. 701-705.
 2. В. В. Тарнавич, А. С. Волегов, Д. Лотт, С. Матаух, А. Воробьев, А. Олешкевич, С. В. Григорьев, Структурные и магнитные свойства гольмий-иттриевой сверхрешетки. Поверхность. рентгеновские, синхротронные и нейтронные исслед., (2014), № 10, с.19–25.
 3. V. Lauter-Pasyuk, H. J. Lauter, G. P.Gordeev, P. Muller-Buschbaum, B. P. Toperverg M.Jernenkov and W. Petry. Nanoparticles in Block-Copolymer Films Studied by Specular and Off-Specular Neutron Scattering. Appl. Phys. A. (2003). vol. 19. Suppl. pp. 7783-7788.

Использование в Биологии

4. J. C. Smith, G. R. Kneller. Combination of Neutron Scattering and Molecular Dynamics to Determine Internal Motions in Biomolecules. *Molecular Simulation* (1993) vol.10, pp. 363-375.
5. R. Efremov, G. Shiryayeva, G. Bueldt, et al., SANS investigations of the lipidic cubic phase behaviour in course of bacteriorhodopsin crystallization, *J. of Cryst. Grow.*, 2005, v. 275, pp.1453–1459.

Тонкое 3-мм входное окно в отличие от детекторов при
высоком давлении

Эксперимент с холодными нейтронами

6. M. Bleuel, J.M. Carpentera, B.J. Micklich, P. Geltenbort, K. Mishima, H.M. Shimizu, Y. Iwashita, K. Hirota, M. Hino, S.J. Kennedy, J. Lala. A small angle neutron scattering (SANS) experiment using very cold neutrons (VCN). *Physica B; Condensed Matter* (2009) vol. 404, iss.17, pp. 2629–2632.

Новые детекторы на основе бор-10

Счетчик диам.30 мм, дл.1500мм один слой 2,5мкм $^{10}\text{B}_4\text{C}$

G. Gervino, M. Balma, D. Devona et al, Preliminary results of a new boron coated neutron detector. NIM A, v.718(2013)143–144

Плоская камера 200мм x 200мм, реализовано три слоя по 1,3мкм, GEM, эффект.8% при 1,82А, 16% при 8А

M.Klein, C.J.Schmidt/CASCADE, neutron detectors for highest count rates in combination with ASIC/FGPA based readout electronics/ NIM A v.628 (2011) 9-18

Монитор пучка нейтронов в CERN

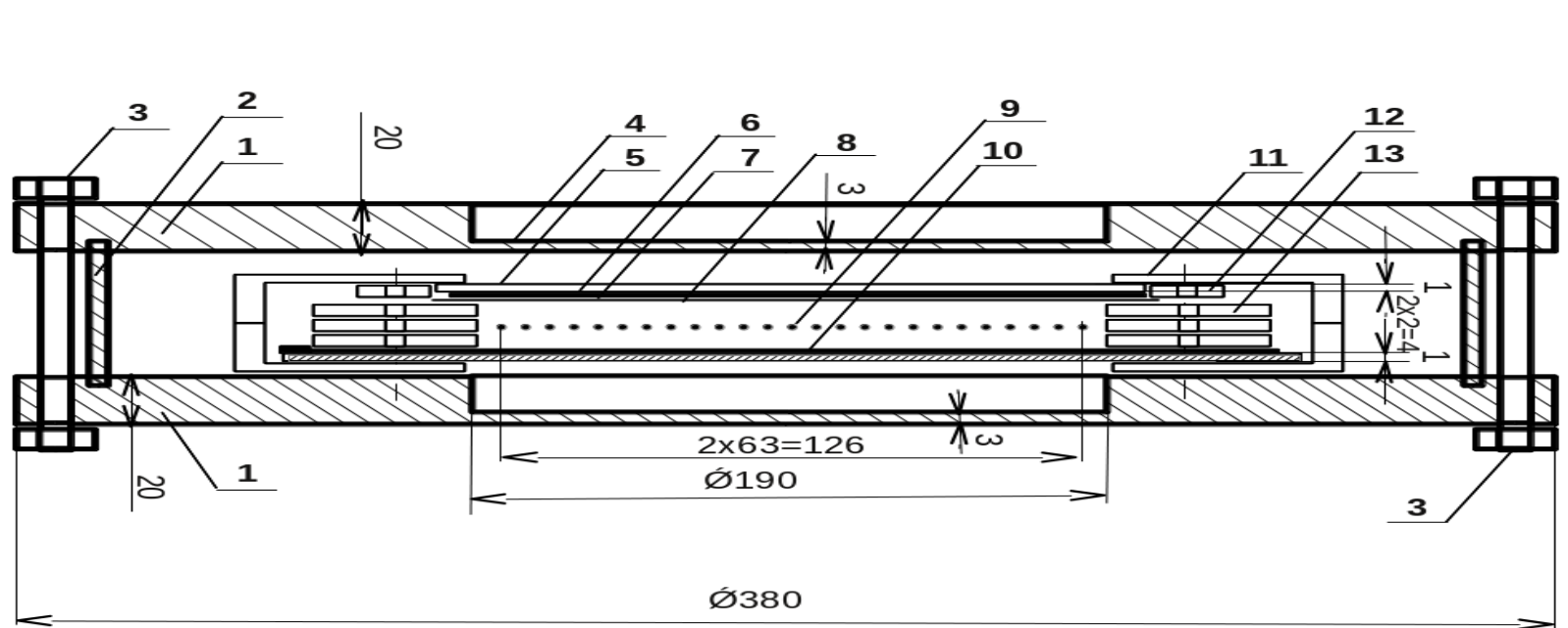
S. Andriamonje,* M. Calviani, Y. Kadi et al. A New 2D-micromegas Detector for Neutron Beam Diagnostic at n TOF. Journal of the Korean Physical Society, v.59, No. 2 (2011) pp. 1601~1604

Захват нейтронов в слое бора-10 и эффективность регистрации

- $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^4\text{He}$ (1470 кэВ) + ${}^7\text{Li}$ (830 кэВ) + γ , (480 кэВ), 93%
- $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^4\text{He}$ (1470 кэВ) + ${}^7\text{Li}$ (1310 кэВ), 7%.
- Диск стекло 1 мм, оптимальная толщина слоя ${}^{10}\text{B}$ 2,5 — 3 мкм
- Нанослой полиимида
- Алюминий - оптимальная толщина слоя 0,1 — 0,2 мкм
- Защитный проводящий полимер

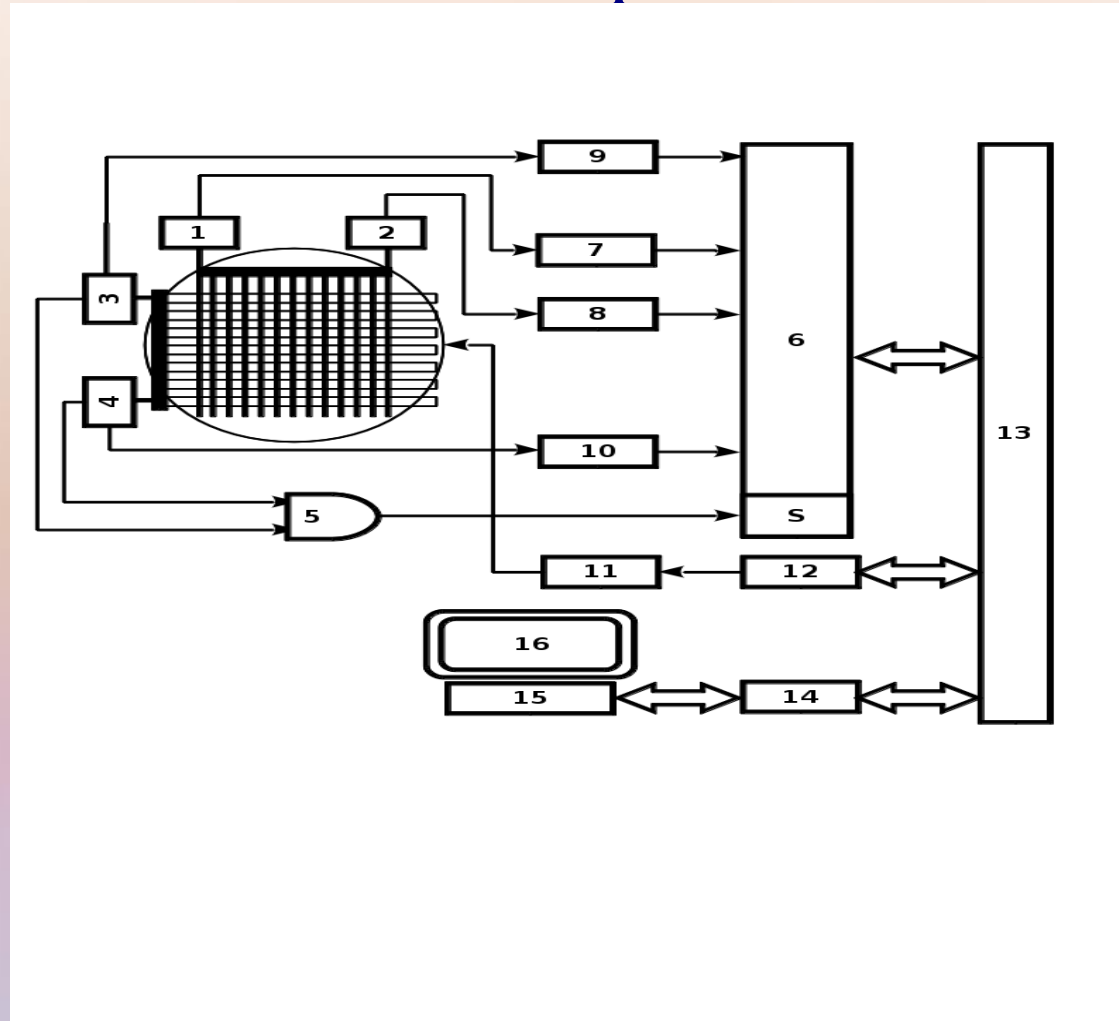
λ , А	1,82	4	8	16	1,82	4	8	16
толщи на слоя	доля поглощенных нейтронов, %				Эффективность, %			
3,0	14,9	21,3	28,7	38,0	5,2	7,3	9,6	12,4

Многопроволочная многостриповая ионизационная (пропорциональная) камера



Устройство пропорциональной камеры. 1 — верхняя и нижняя круглые крышки корпуса с окнами; 2 — цилиндрическая боковая стенка корпуса; 3 — болты и гайка; 4 — окно; 5 — пластина из стекла; 6 — слой бора-10; 7 - слой полиимида; 8 - слой алюминия; 9 — высоковольтный сигнальный проволочный анод координаты X; 10 — сигнальный полосковый катод координаты Y; 11 — фторопластовый кожух детектирующего элемента; 12 — фиксатор стеклянной пластины; 13 — несущий элемент проволоки.

Система сбора данных

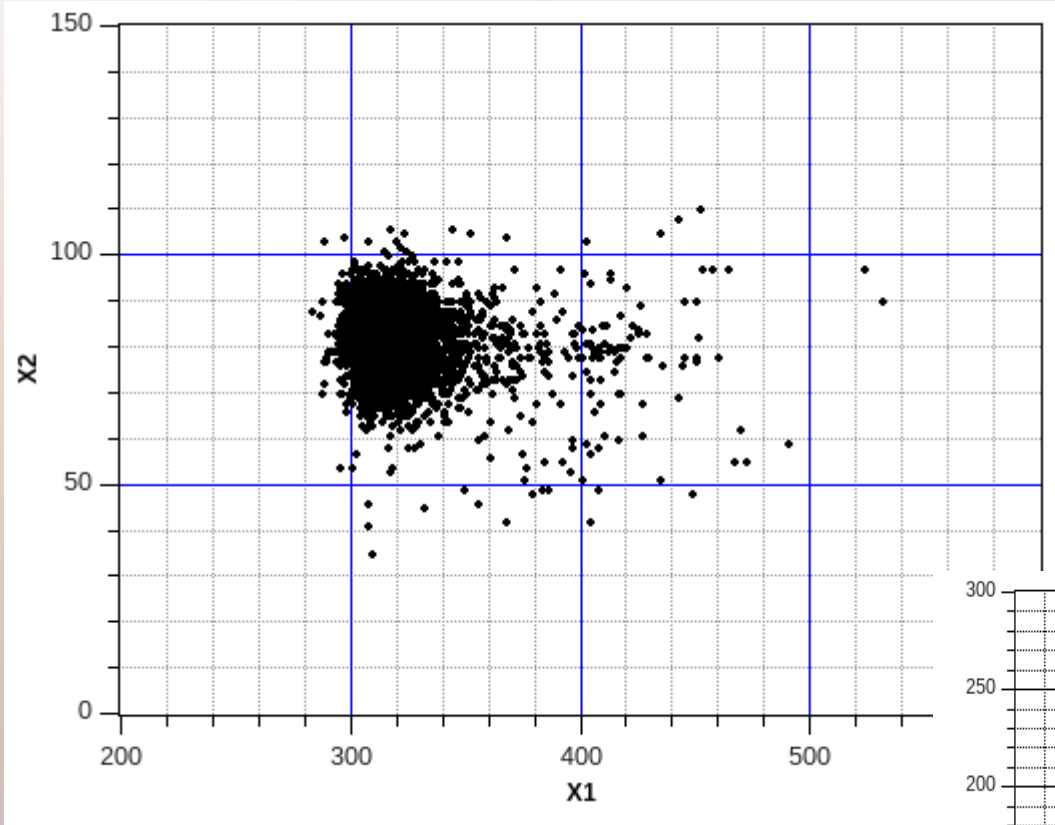


Структурная схема системы сбора данных с модулями КАМАК. 1, 2, 3 и 4 - предварительные усилители; 5 — цифровой дискриминатор; 6 — амплитудно-цифровой дискриминатор; 7, 8, 9, 10 — усилители; 11 — управляемый источник высокого напряжения; 12 — цифро-аналоговый преобразователь; 13 — магистраль КАМАК; 14 - крейт контроллер; 15 — плата PCI контроллера ветви; 16 - компьютер.

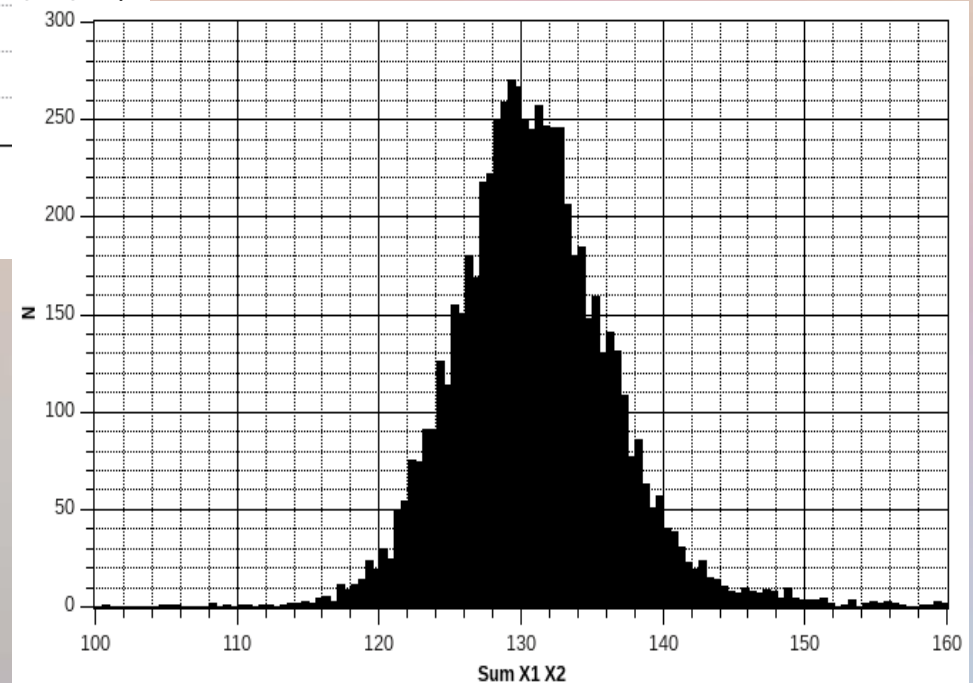
Источник нейтронов ИЯИ РАН, размещение детектора

- Компактный источник нейтронов на базе ускорителя электронов ЛУЭ-8
- Энергия 8 МэВ, вольфрамовая мишень производит гамма-кванты
- Бериллиевая мишень производит нейтроны
- Полиэтиленовый куб - замедлитель нейтронов
- Максимальный поток тепловых нейтронов $\sim 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
- Детектор под углом 60° к пучку
- Детектор на расстоянии 5,4 м от бериллиевой мишени.

Первое измерение, открытый детектор, $U=700\text{В}$

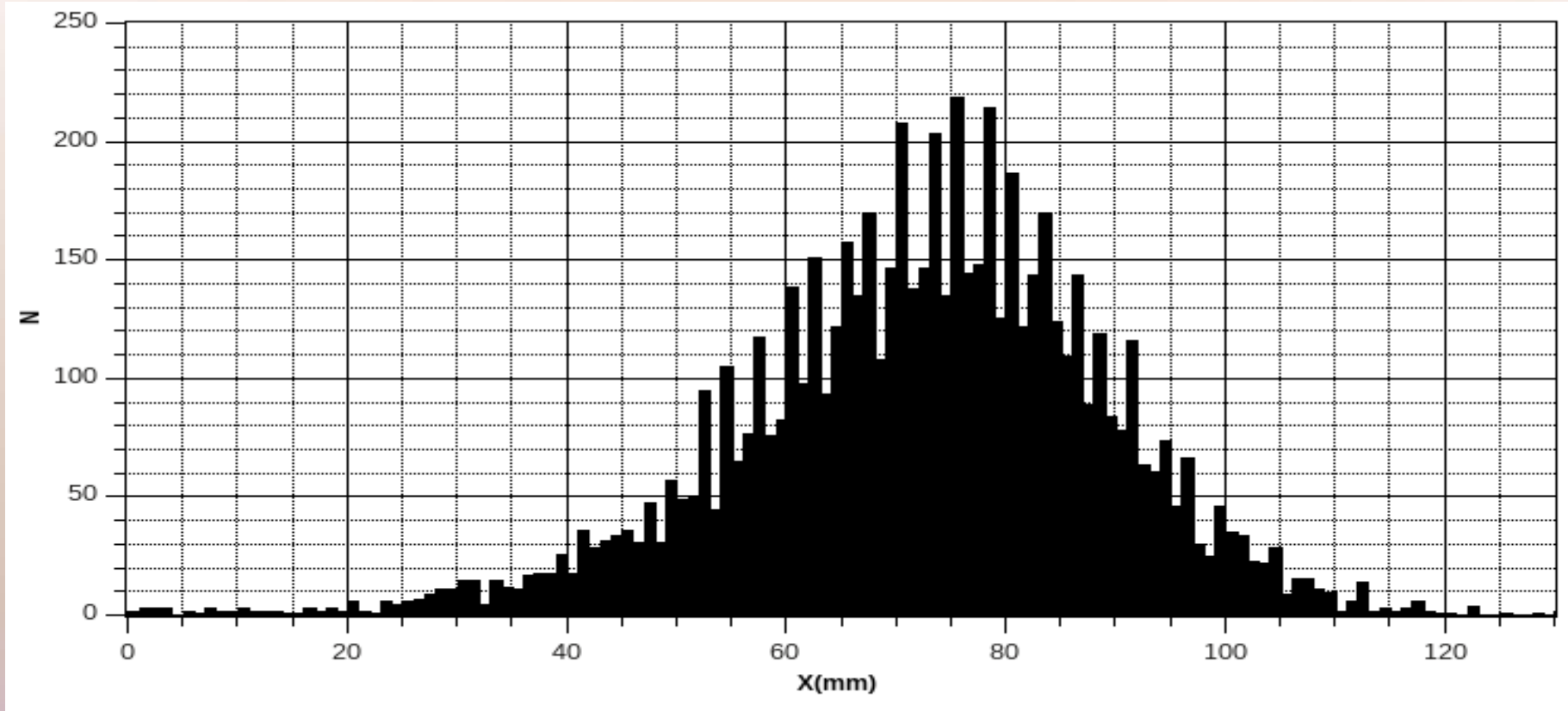


Суммарный
амплитудный спектр с
учетом нормировки,
амплитудное разрешение
15%



Корреляция амплитуд $X1$ и $X2$

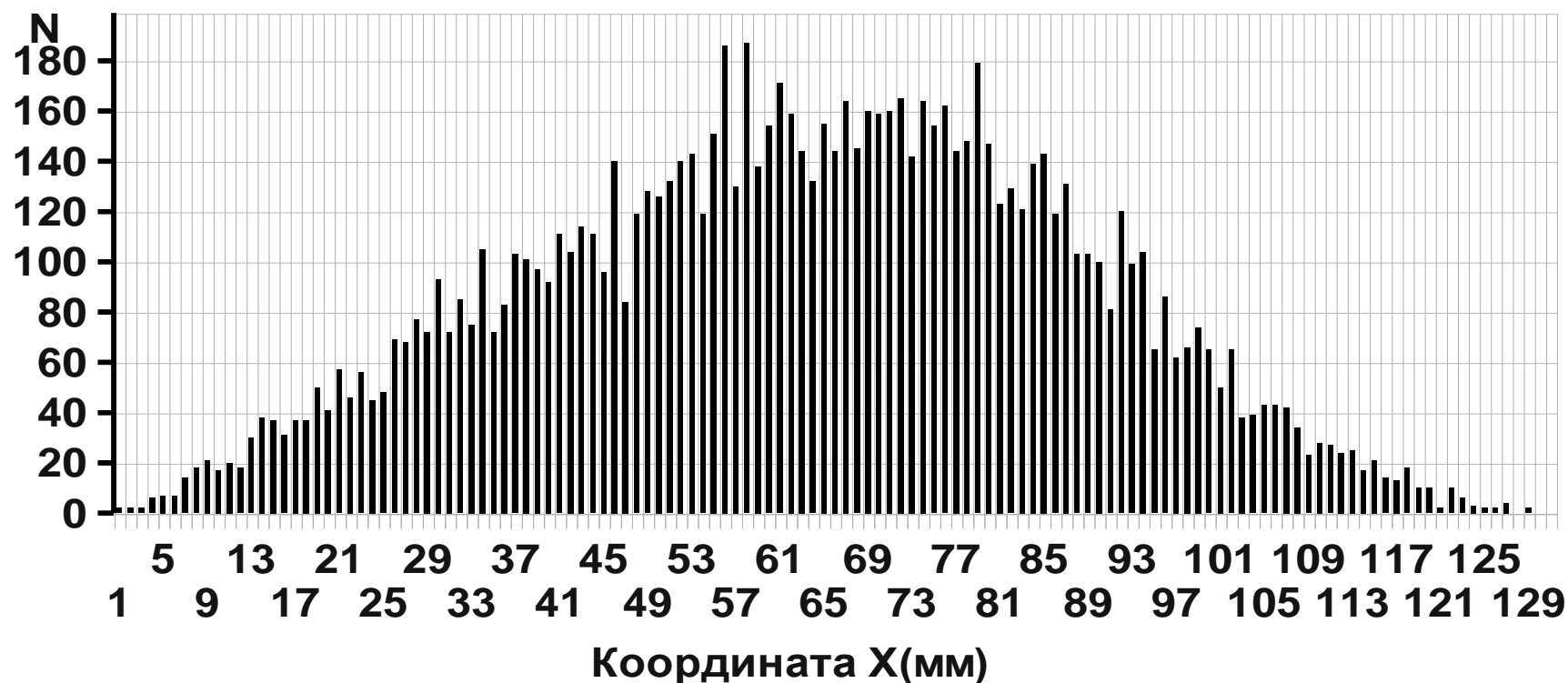
Координатный спектр, открытый детектор, $U=700\text{В}$



Координатный спектр из соотношения амплитуд X_1 и X_2 с учетом их максимальных и минимальных значений. Структура отражает изменение эффективности вблизи проволочек и между проволочками. Круглая форма стеклянного катода, возможная неравномерность слоя $^{10}\text{В}$

Открытый детектор, спектр координат при 800В

Оценка эффективности детектора от 700В до 800В : 3 — 5%



При увеличении напряжения до 800В счетная характеристика не изменилась, но суммарный амплитудный спектр расширился. При этом структура в координатном спектре исчезла

Флуктуация амплитуды сигналов при газовом усилении приводит к ухудшению координатного разрешения ?

Второе измерение с диафрагмой из кадмия, $U=650\text{В}$, 3 ч.

Диафрагма: кадмий, толщ. 2 мм, левый край детектора открыт, правый край загорожен по оси X, ширина открытого окна 75 мм

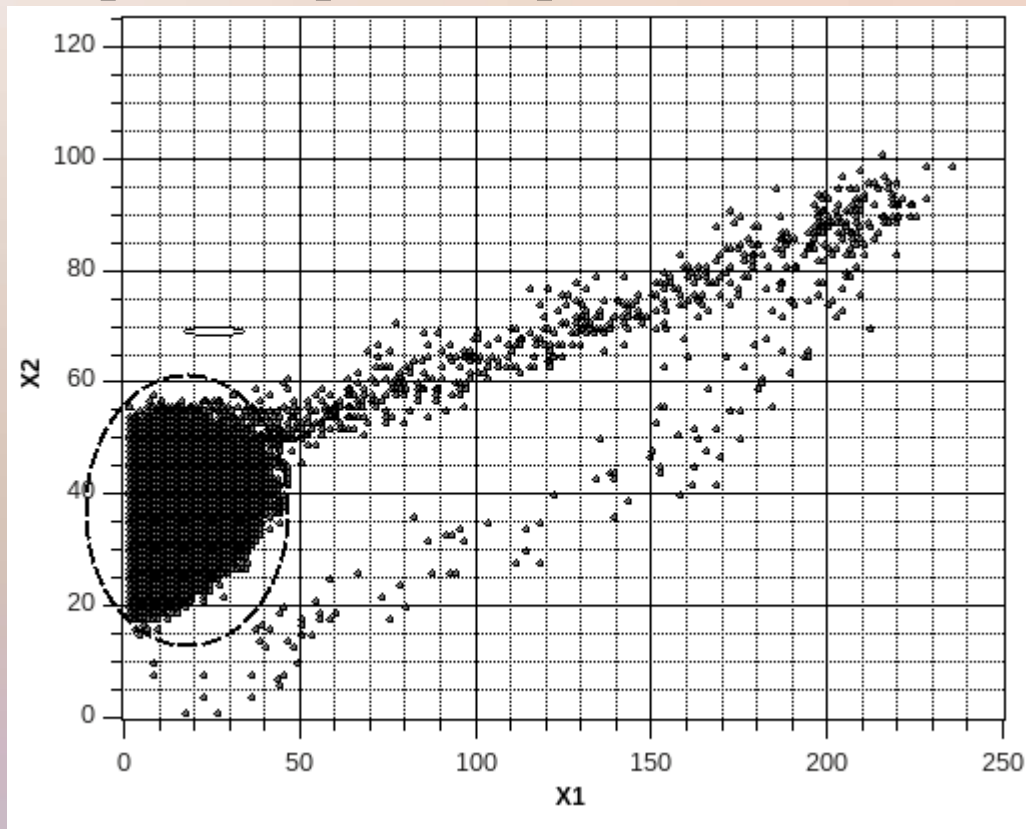
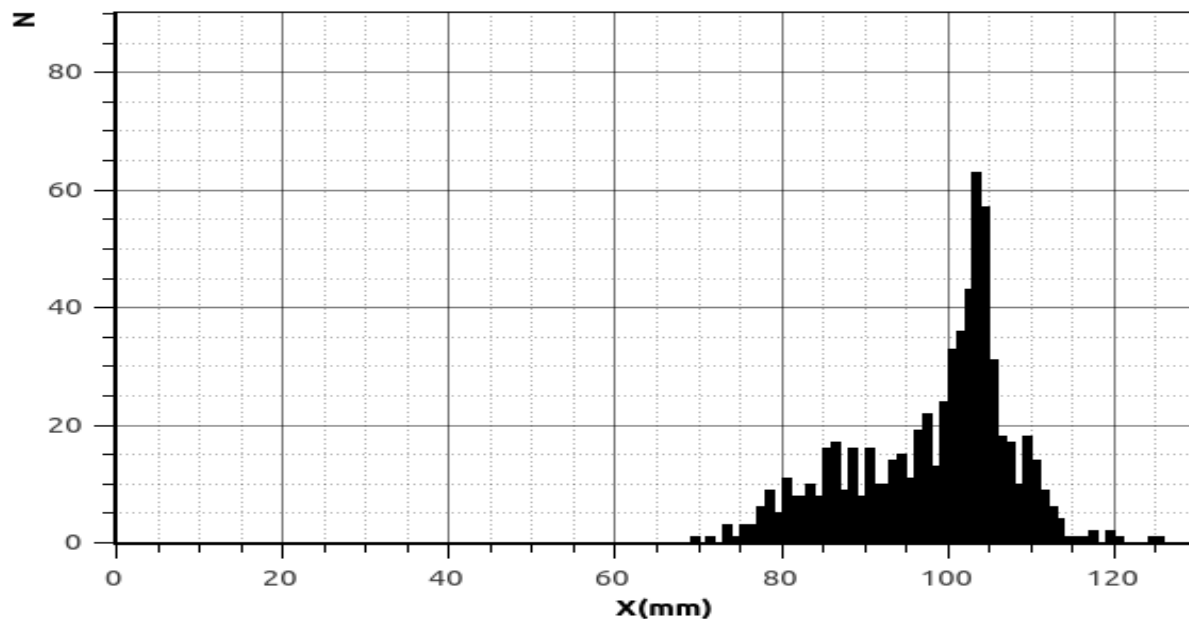
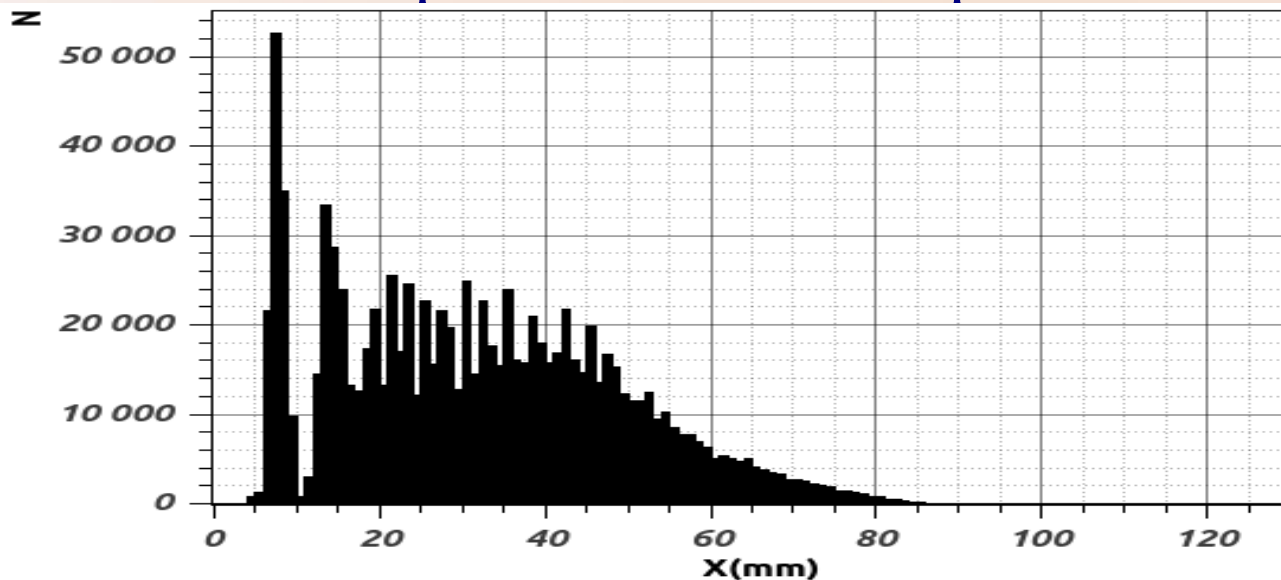


Диаграмма корреляций между сигналами X_1 и X_2 для координаты X. Пунктиром показана эллиптическая область, в которой содержится 99,99% событий. Локус: центр $X_1 = 18$ и $X_2 = 37$ полуоси $a_1 = 30$ и $a_2 = 25$.

«Хвост» больших амплитуд, в котором 0,01% событий

Без бериллиевой мишени вклад фона не более 0,001%. Фоновые события не из мишени легко режектируются по соотношению измеренных амплитуд. Фон = Естественный фон

Второе измерение, диафрагма из кадмия, 650В, координатные спектры в окне и вне окна



Структура в спектре повторяет геометрию проволочной структуры: неоднородность электрического поля вблизи проволок диаметром 0,02 мм свидетельствует о разрешении $\sim 2 - 3$ мм. Ионизационный режим 0,01% не попадающих в эллиптическую область соответствуют большим амplitудам и обусловлены ${}^4\text{He}$ и ${}^7\text{Li}$, с длинным треком, которые движутся параллельно плоскости детектора

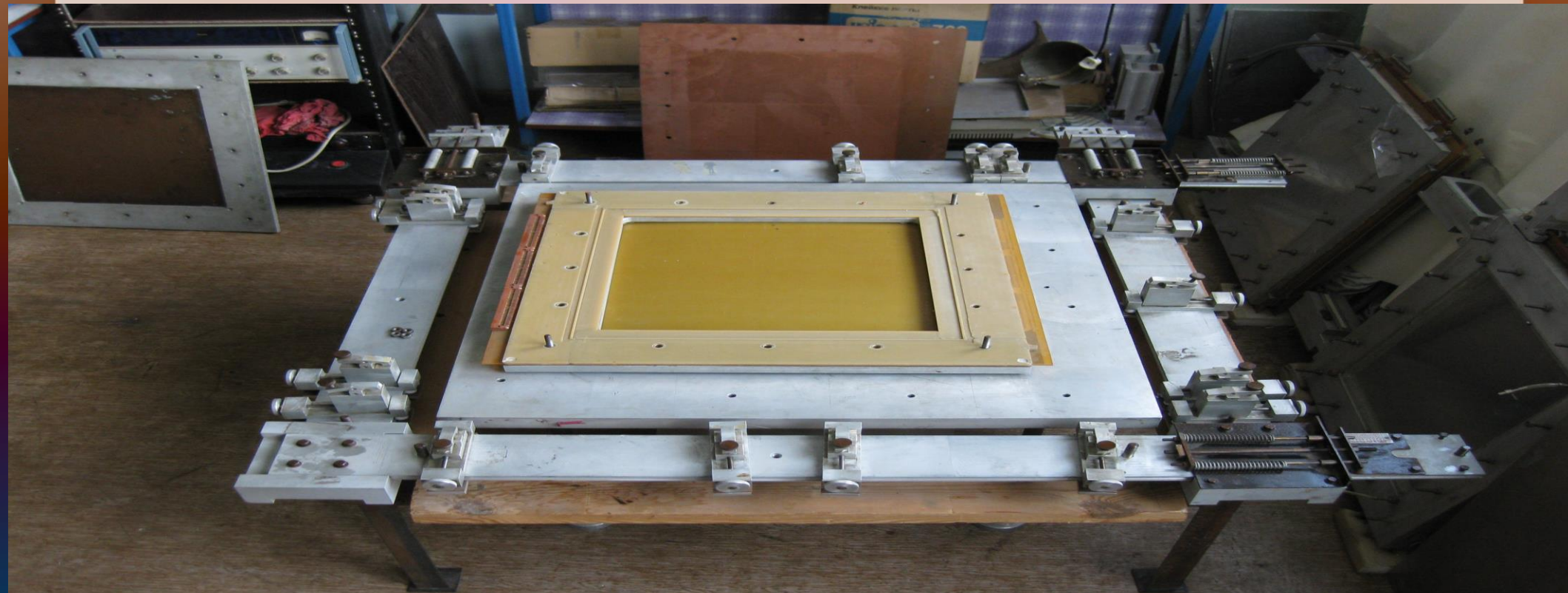
Большой многослойный позиционно — чувствительный детектор нейтронов

Детектор размерами 380 x 380 мм², состоящий из 10-ти слоев ¹⁰B.

Ожидаемая эффективность ~41% при 1,82А и до 62% при 8А

Позиционное разрешение 4мм, временное разрешение ~1 мкс

Имеется оборудование для изготовления рам - электродов с проволочками и пленкой методом точного вакуумного литья.



Выводы

- Из расчетов моделирования выбрана оптимальная толщина чувствительного слоя ^{10}B , которая составляет 2,5 - 3 мкм с оптимальным алюминиевым слоем толщиной 0,1 - 0,2 мкм
- Разработан и испытан позиционно-чувствительный детектор медленных нейтронов рабочей площадью 128 x 128 мм
- Эффективность регистрации нейтронов детектора из одного слоя ^{10}B оценивается $\sim 3\%$ в тепловой области энергий
- Соотношение эффективностей регистрации фона и нейтронов не превышает 0,00001
- Амплитудное разрешение составляет 15%
- Пространственное разрешение оценивается как 2,5мм для одной координаты X для рабочего газа $Ar + 25\%CO_2 + CF_3Br$ при н.у.