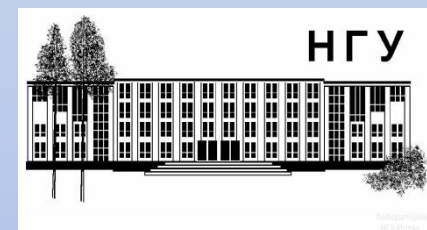


# Криогенные детекторы для регистрации тёмной материи и низкоэнергетичных нейтрино

*А.В. Соколов, А.Е. Бондарь, А.Ф. Бузулуцков,  
С.В. Пелеганчук, Р.Г. Снопков, А.В. Чегодаев,  
Е.О. Шемякина, Л.И. Шехтман,*

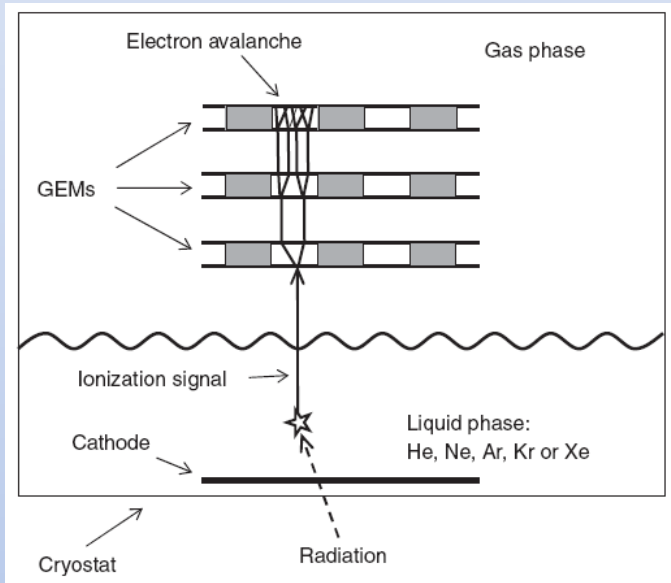
**ИЯФ СО РАН  
НГУ**



Международная сессия-конференция Секции ядерной  
физики ОФН РАН  
*«Физика фундаментальных взаимодействий»*  
ИФВЭ, Протвино

08.11.2013

# Концепция детектора



- Цель: разработка детектора предельной чувствительности (работа в одноэлектронной моде, высокое пространственное разрешение, крайне низкий шум) для регистрации тёмной материи, когерентного рассеяния нейтрино и других (например медицинских) приложений.

-Основная идея: комбинация микроструктурных детекторов (типа ГЭУ) с двухфазным криогенным детектором.

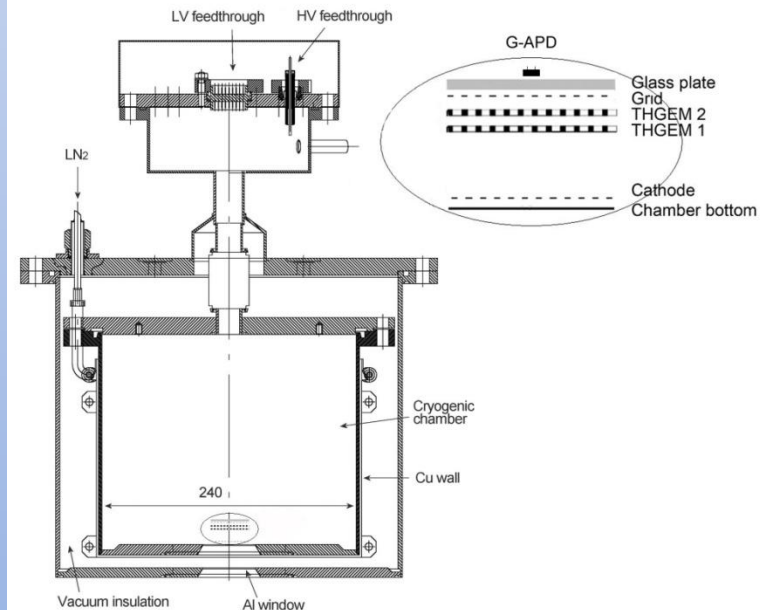
-Мы называем детекторы такого типа - Криогенный Лавинный Детектор (КЛД, англ. CRAD).

# Схема экспериментальной установки

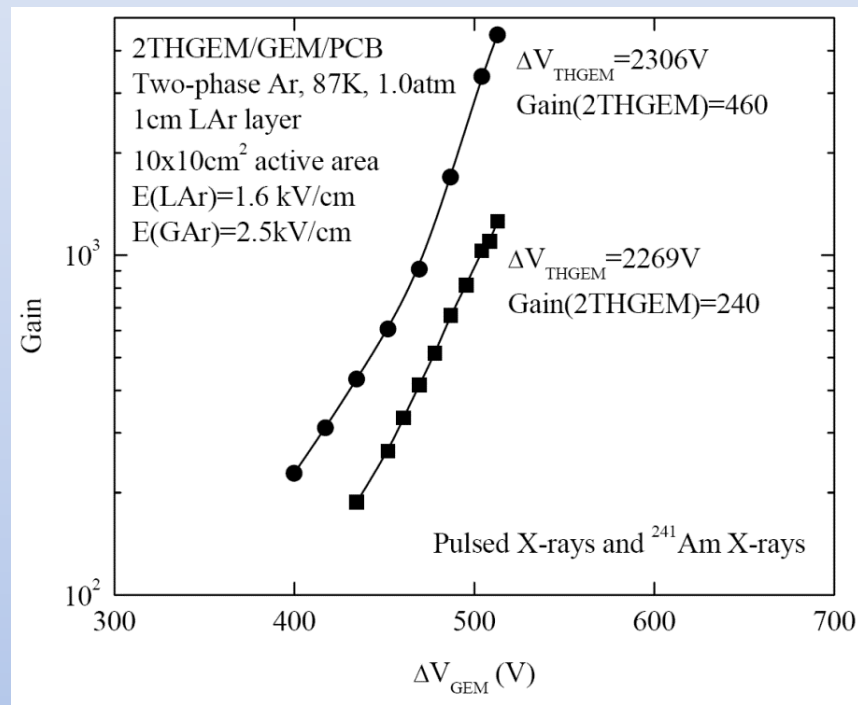
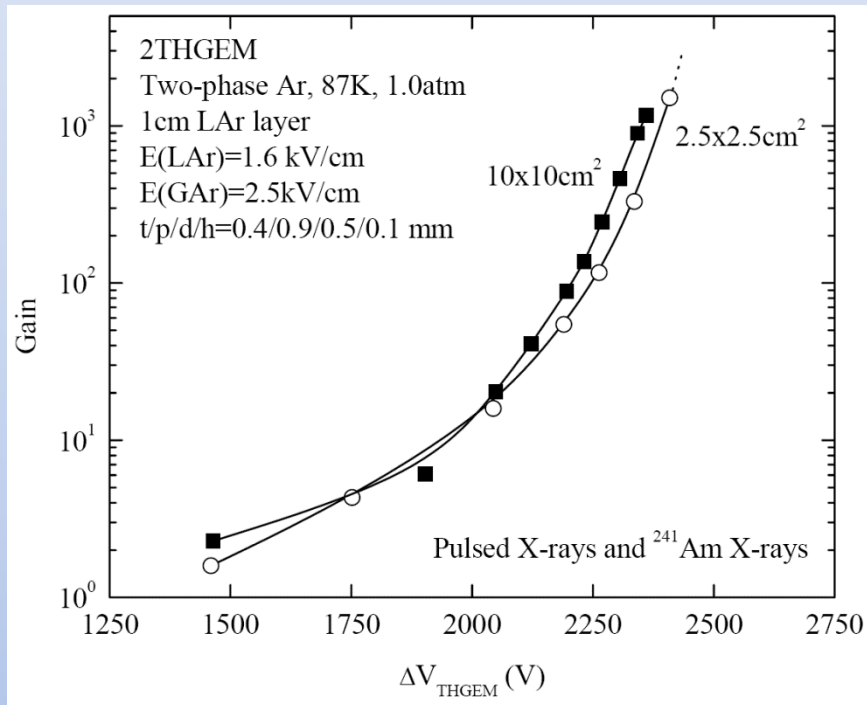


криостат

- 9-литровый криостат с 5 см Al окном для калибровки с помощью рентгеновской пушки
- ~0.5-2.5 литра жидкого Ar или Xe
- Сборка THGEM или THGEM/GAPD внутри
- Очистка с помощью Oxisob: достижимое время жизни электрона - 20  $\mu\text{s}$
- Однодневный цикл захлаживания
- Время сжижения - 1-3 часа

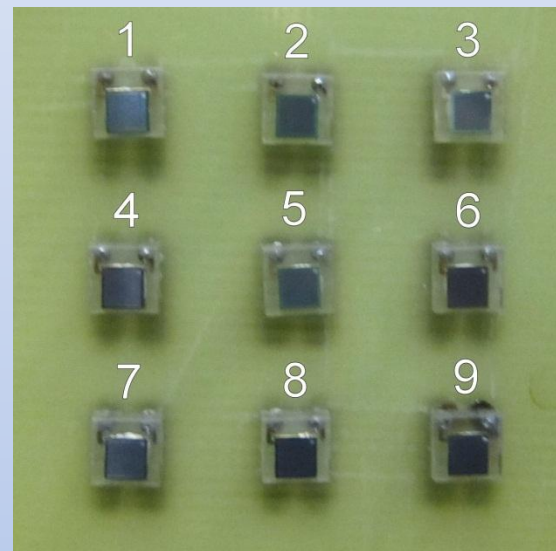
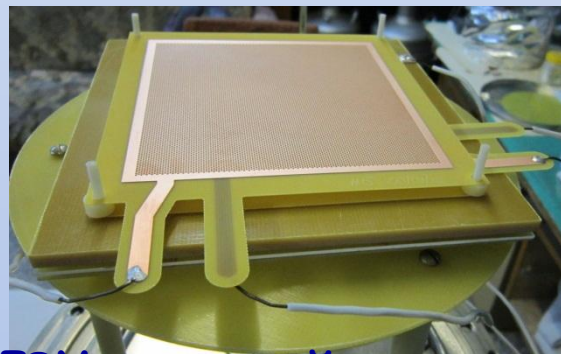
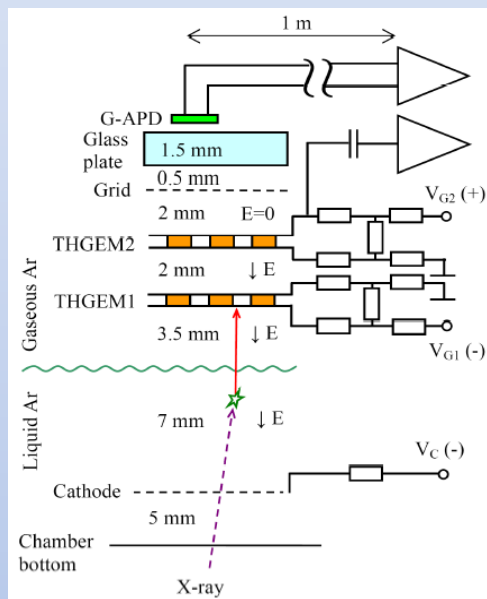


# Экспериментальные результаты



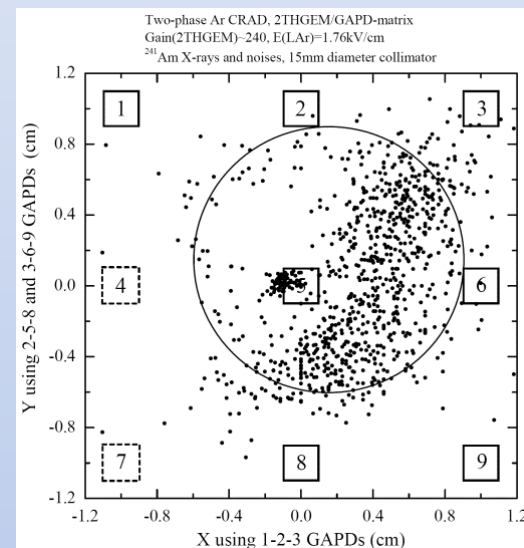
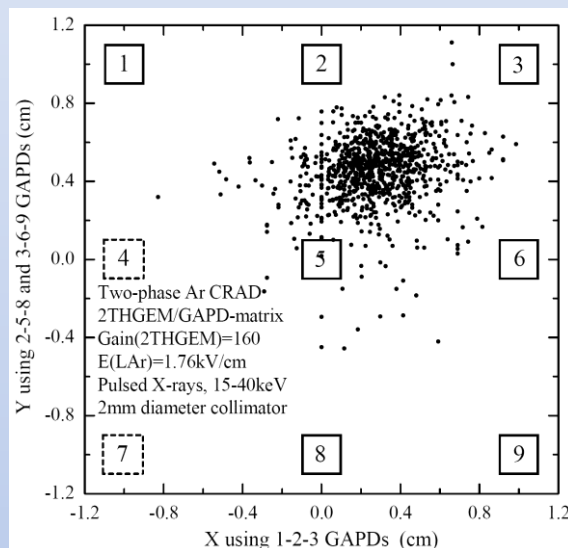
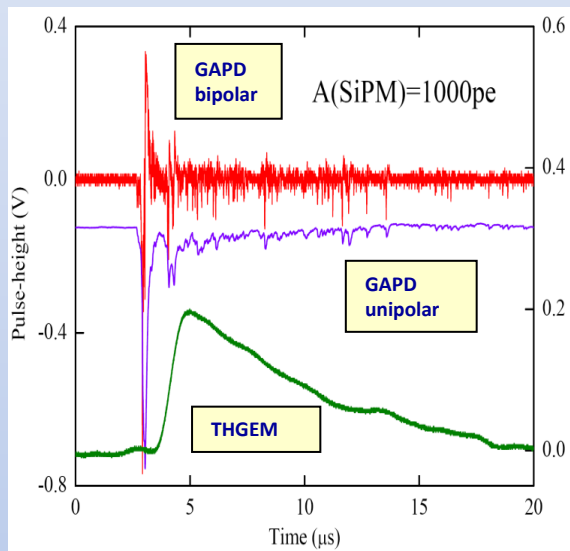
- Подтверждена возможность создания КЛД с размером ГЭУ 10x10 см<sup>2</sup>.
- Усиление с двойным «толстым» ГЭУ достигает 10<sup>3</sup>.
- Усиление с двойным «толстым» ГЭУ+ «тонкий» ГЭУ + микроструктурный считывающий электрод достигает 5x 10<sup>3</sup>.

# Двухфазный криогенный лавинный детектор с оптическим считыванием



- Двойной «толстый» ГЭУ в газовой фазе
- 3x3 G-APD матрица (1 см зазор) для оптического считывания NIR
- Каждый G-APD (CPTA 149-35) имеет площадь  $2 \times 2 \text{ мм}^2$  и подключен к токовому усилителю (CPTA) снаружи камеры
- В качестве источника излучения использовалась импульсная рентгеновская пушка ( $\sim 20 \text{ кэВ}$ , 240 Гц) с коллимированным отверстием 2 мм.
- Установка работала в режиме счёта отдельных рентгеновских квантов.

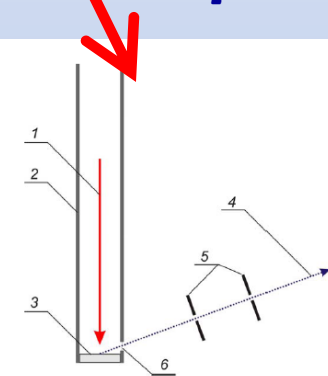
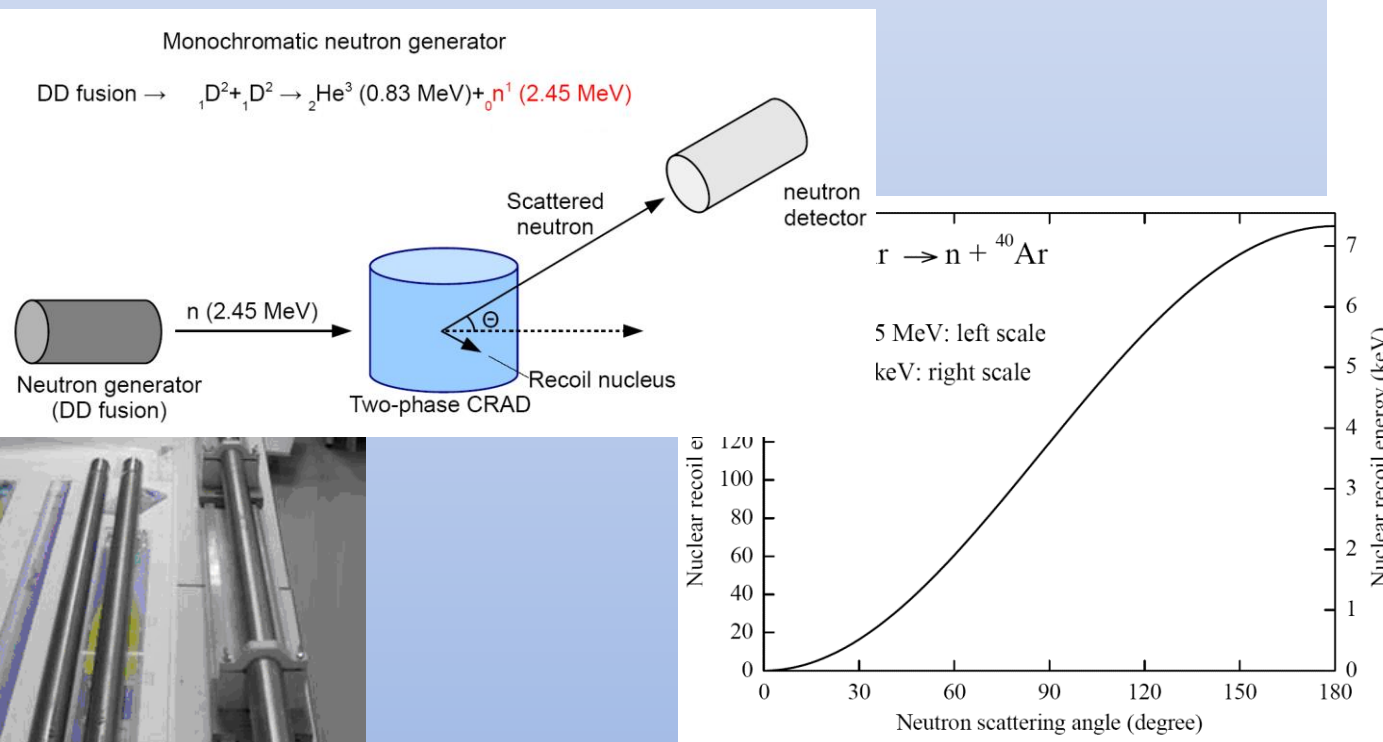
# Экспериментальные данные



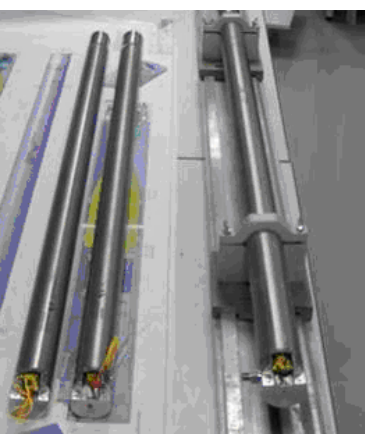
- Наблюдение сцинтилляций в Ar в отверстиях ГЭУ в инфракрасном диапазоне с использованием GAPD.
- Реконструкция точки конверсии рентгеновского кванта (для коллиматоров  $\varnothing$  2 и 15 мм) с помощью матрицы GAPD.
- С использованием метода центра тяжести было получено пространственное разрешение порядка 1 мм (с).
- Эквивалентный световой выход ГЭУ при усилении ГЭУ 160 равен 12 ф.э. на 1 кэВ энергии выделенной в жидком Ar.

# Измерение фактора гашения

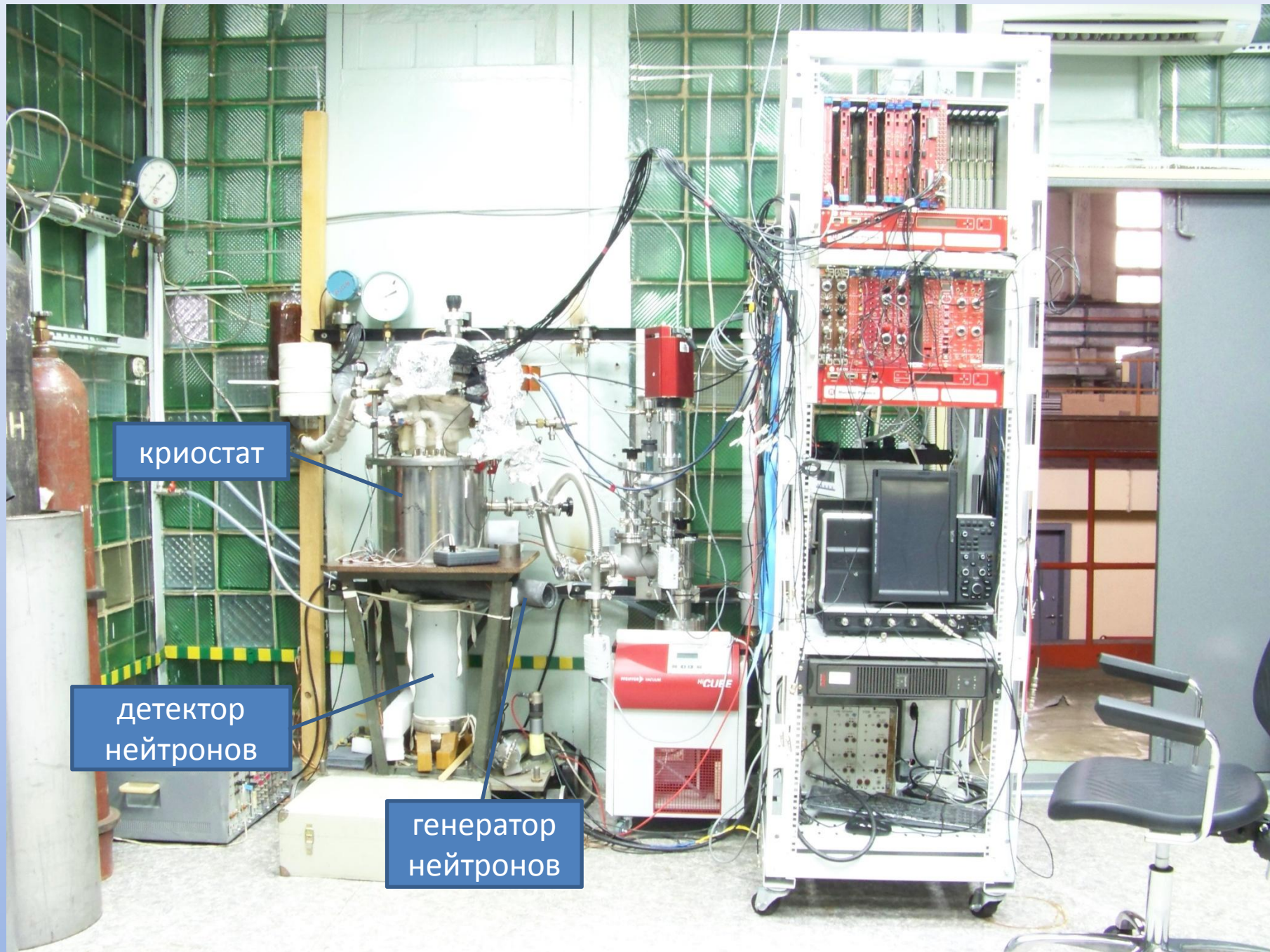
Два нейтронных генератора разработанных в отделе физики плазмы ИЯФ СО РАН:  
 - DD генератор (трубка) производящая монохроматичные нейтроны энергией 2.45 МэВ  
 [А.В. Бурдаков, С.В. Полосаткин, Е.Г. Гришняев]  
 -  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  моноэнергетичный пучок тепловых нейтронов с энергией 77 кэВ,  
 создаваемый с помощью 2 МэВ-ного протонного ускорителя и мишени из  ${}^7\text{Li}$  [С.Ю.  
 Таскаев и др.].



[A. Makarov, S. Taskaev,  
 Pisma v JETP 97 (2013) 769]



[A. Bondar et al. , Proposal for neutron scattering systems for calibration of dark matter search and low-energy neutrino detectors, in preparation]



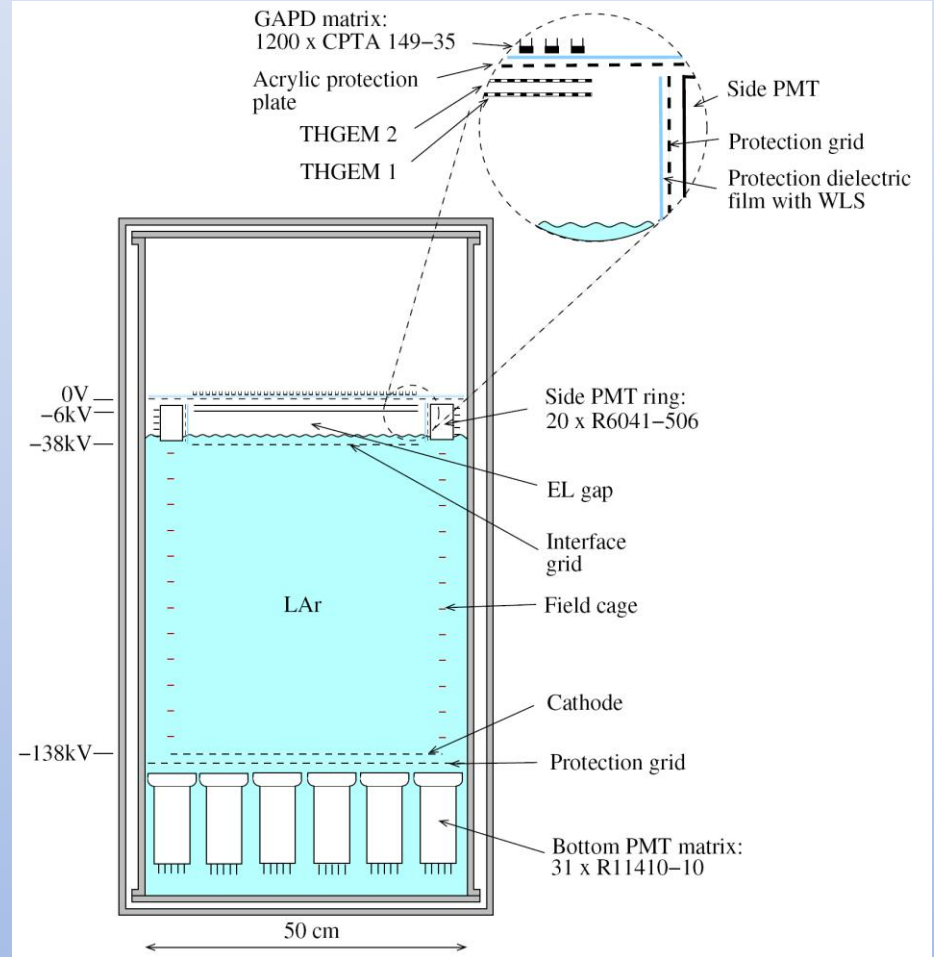
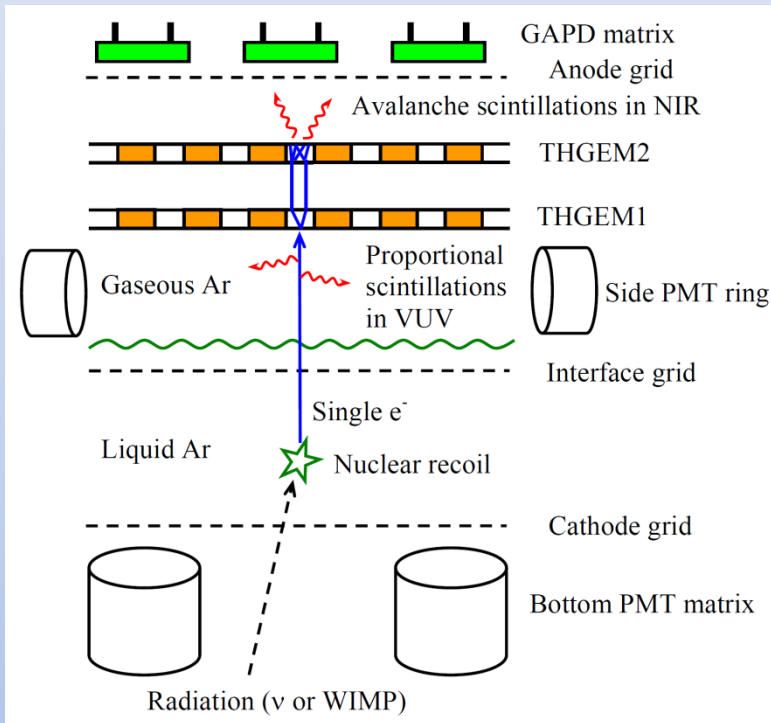
криостат

детектор  
нейтронов

генератор  
нейтронов



# Дальнейшее развитие концепции детектора



# Криостат объёмом 160 литров



# Заключение

---

- Была предложена оригинальная концепция двухфазного криогенного детектора с оптическим съемом информации.
- На прототипе был получен световыход 12 ф.э./кэВ
- Ведутся эксперименты по измерению фактора гашения для Ar с использованием нейтронного генератора
- Начато изготовление большого прототипа, емкостью 160 литров, для измерения фактора гашения с помощью тепловых нейтронов и определения энергетического порога для регистрации ядер отдачи.

# Группа по разработке криогенных лавинных детекторов

---

Работы по разработке детекторов осуществляются в лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ, которая базируется в НГУ и ИЯФ СО РАН. Лаборатория создана в рамках Договора № 11.G34.31.0047 между Министерством образования и науки Российской Федерации и Новосибирским государственным университетом. Руководитель лаборатории Александр Дмитриевич Долгов.

Состав группы разработчиков КЛД: Р. Белоусов, А.Е. Бондарь, А.Ф. Бузулуцков (координатор), В.В. Носов, С.В. Пелеганчук, Р.Г. Снопков, А.В. Соколов, А.В. Чегодаев, Е.О. Шемякина, Л.И. Шехтман.

Помимо этого в проекте участвуют сотрудники «плазменных» лабораторий: А.В. Бурдаков, Е.С. Гришняев, С.В. Полосаткин, С.Ю. Таскаев.

# Nuclear recoil data in LAr

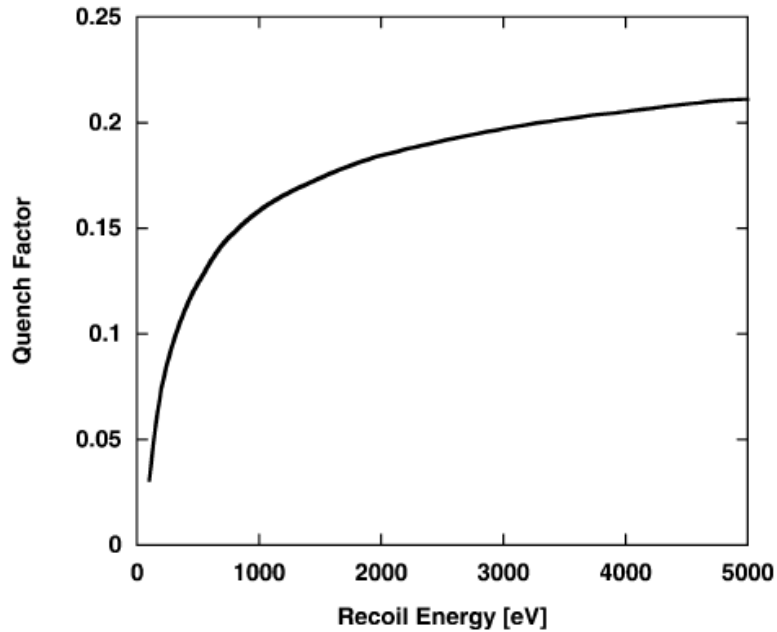
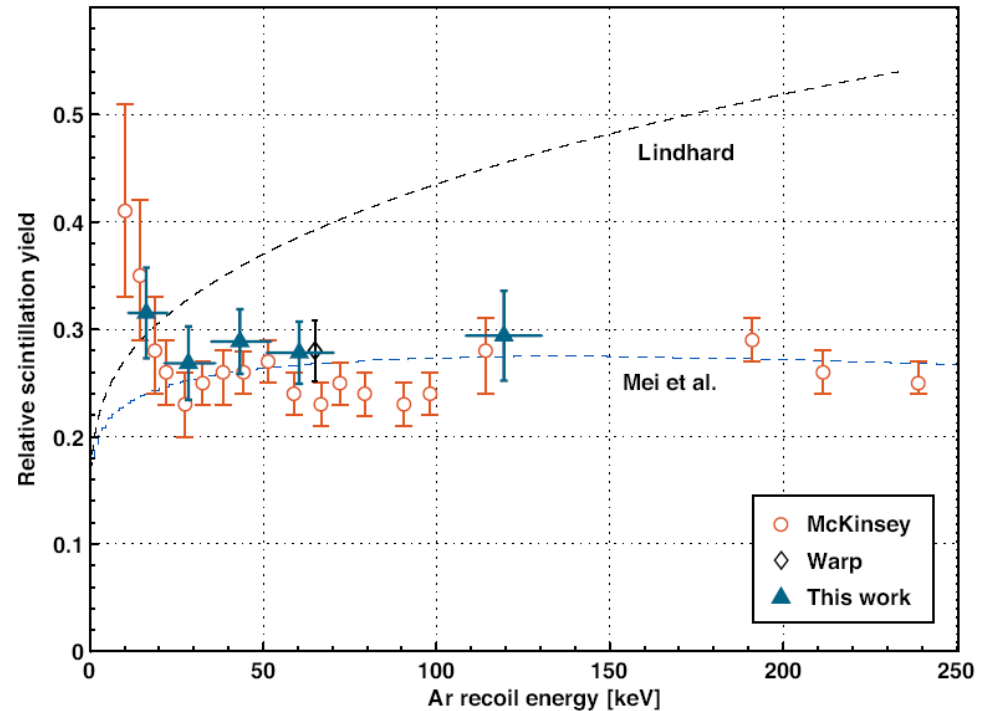


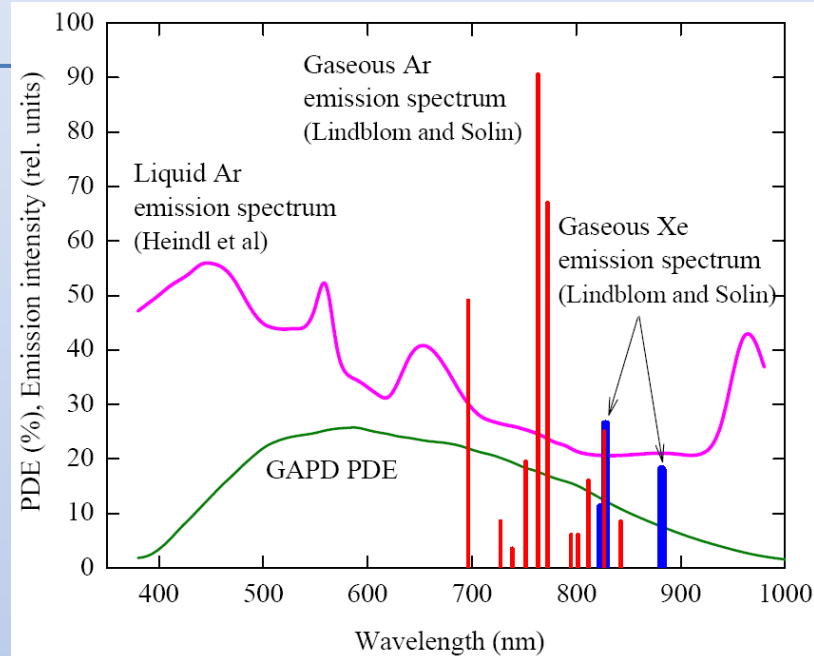
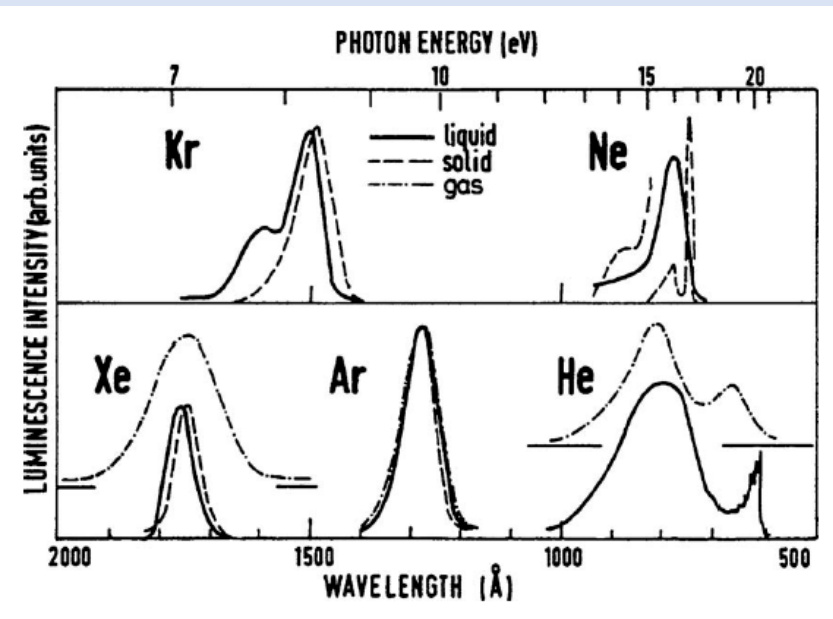
Fig. 3. Calculated quench factor of liquid argon, defined as the ratio of the nuclear to electron recoil induced inelastic (ionization or excitation) yield.



Scintillation quenching factor: LAr, experiment  
[Gastler et al. *Phys. Rev. C* 85, 065811 (2012); C.  
Regenfus et al. *J. Phys. Conf. Series* 375 (2012)  
012019]

Total quenching factor for both  
ionization and excitation: LAr, theory  
[C. Hagmann, A. Bernstein *IEEE Trans.  
Nucl. Sci.* 51 (2004) 2151]

# Optical readout of CRADs with combined THGEM/GAPD multiplier: motivation



Primary scintillation emission spectra of noble gases [E. Aprile, T. Doke, Rev. Mod. Phys. 82 (2010) 2053]

- Visible and NIR emission spectra of gaseous Ar and Xe and liquid Ar - GAPD PDE [A. Buzulutskov, JINST 7 (2012) C02025]

Noble gases have intense secondary scintillations both in VUV and NIR, while GAPDs have high quantum efficiency in the visible and NIR region. This results in two concepts of THGEM optical readout:

- using WLS-coated GAPD sensitive to the VUV;
- using uncoated GAPD sensitive to the NIR.