

# Исследования по тематике медицинской физики на кафедре 40

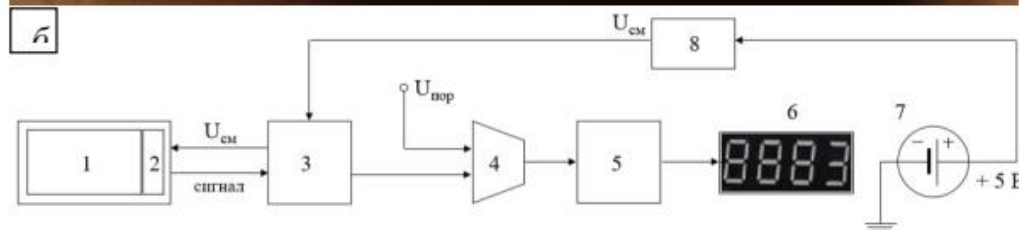
Н. С. Бойко, К. А. Воробьёв, Ф. А. Дубинин

# Гамма-локатор

- Разработан совместно кафедрой 40 и Лабораторией элементарных частиц ФИАН под руководством доц. Канцера В. А.

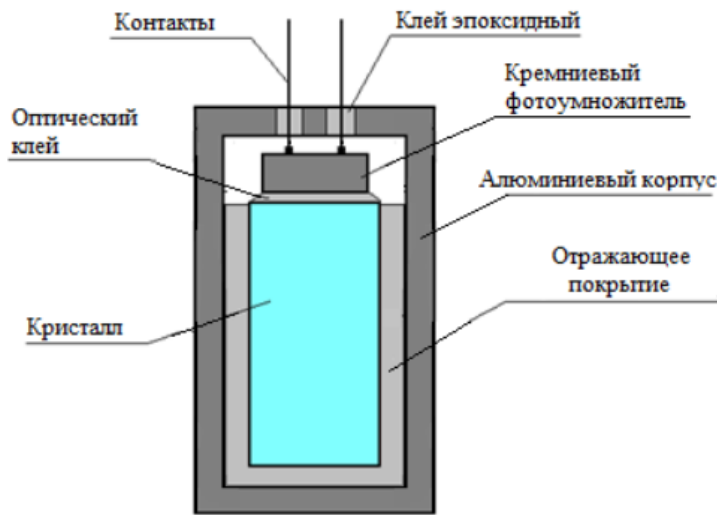
- В 2014 году получен патент RU144697U1, правообладатель – МИФИ, прекратил действие, **может быть восстановлен**

- В 2015 году получен патент RU163078U1, правообладатель – Воробьёв К. А., **прекратил действие**

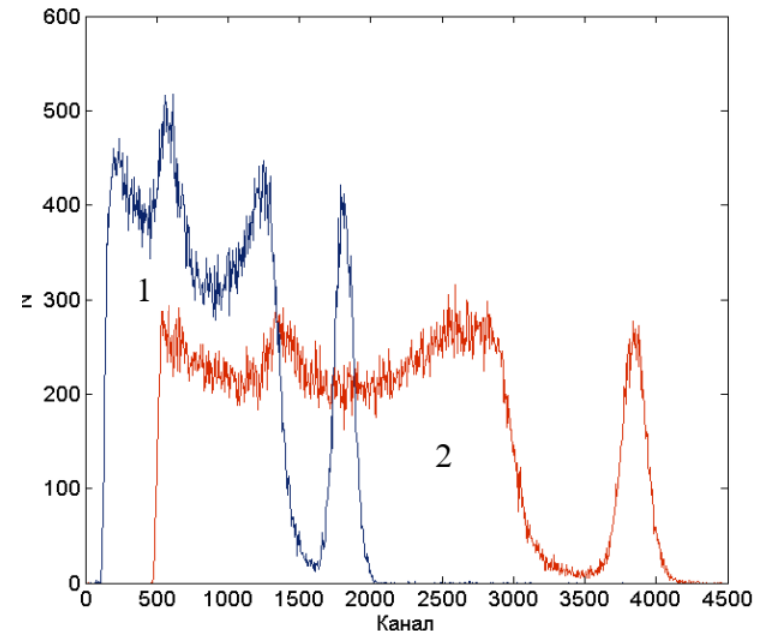


- Оригинальная детекторная сборка на основе  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  и SiPM SensL  $3 \times 3 \text{ мм}^2$
- Характеристики гамма-локатора измерены в соответствии с **международным протоколом NEMA NU3-2004**
- Несколько изделий было передано в клинические центры для проведения исследований

# Детекторная сборка $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ с SiPM SensL FC30035



- SiPM приклеен к сцинтиллятору в сухой среде
- сборка помещена во влагозащитный и светоизолирующий корпус.



- 1 – оптический контакт через кварцевое окно
- 2 – прямой оптический контакт сцинтиллятора и SiPM
- Данная сборка позволила использовать электронную схему без усилителя – уменьшение наводок и температурной зависимости
- ER ~ 5% @ 662 кэВ

# Характеристики Гамма-локатора

Измерения технических характеристик гамма-локатора проведены **согласно протоколу NEMA NU3-2004**

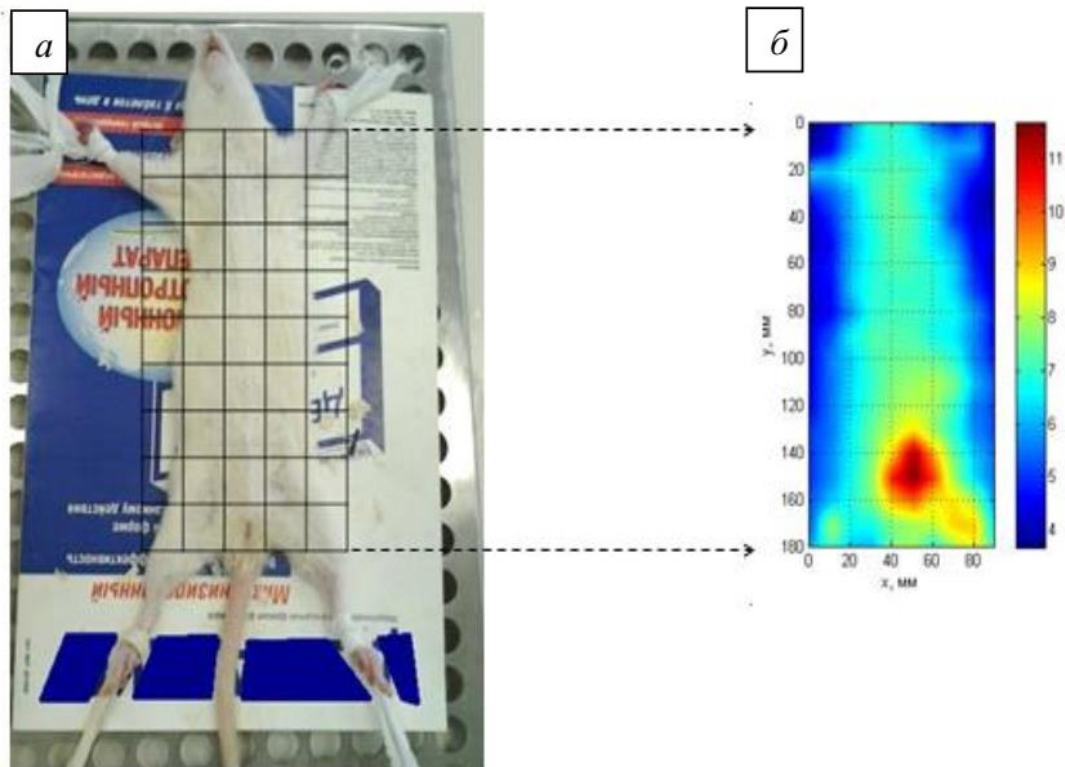
- Источник Co-57 (122кэВ, 136кэВ) 49,1МБк
- Тканеэквивалентная среда – сосуд с водой 30х30х30 см<sup>3</sup>
- Диаметр щупа - 15 мм
- Свинцовый коллиматор (расположен внутри Гамма-локатора)

**Гамма-локатор не уступает аналогам по приведённым характеристикам**

Среда	Чувствительность, имп/с/МБк	Пространственная селективность, град	Пространственное разрешение, мм
<i>Глубина 30 мм</i>			
Воздух	1074 ± 33	19.1 ± 1.2	17.8 ± 0.2
Вода	653 ± 26	26.6 ± 1.4	20.3 ± 0.3
<i>Глубина 50 мм</i>			
Воздух	514 ± 23	19.5 ± 1.2	25.9 ± 0.4
Вода	249 ± 16	25.1 ± 1.6	31.5 ± 1.0

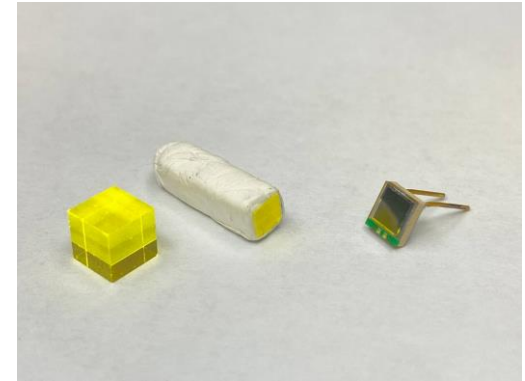
# Испытания in vivo

- РФП «Технефор» ( $^{99m}\text{Tc}$ -EDTMP)
  - Преимущественное накопление в мочевом пузыре крысы
- Проведено последовательное сканирование тела крысы, построена карта скорости счёта прибора
- помимо мочевого пузыря, также видны прочие мягкие ткани, и четко просматривается контур всего тела.



# Развитие концепции гамма-зонда

- Исследование новых детекторов
  - ❖ GAGG(Ce) является новым перспективным сцинтиллятором
  - ❖ Появились новые малозумящие SiPM компании onsemi с более высоким коэффициентом усиления и эффективностью регистрации фотонов
- Расширение возможности применения Гамма-локатора
  - ❖ Рак шейки матки, прямой кишки, предстательной железы
  - ❖ Прибор для лапароскопии

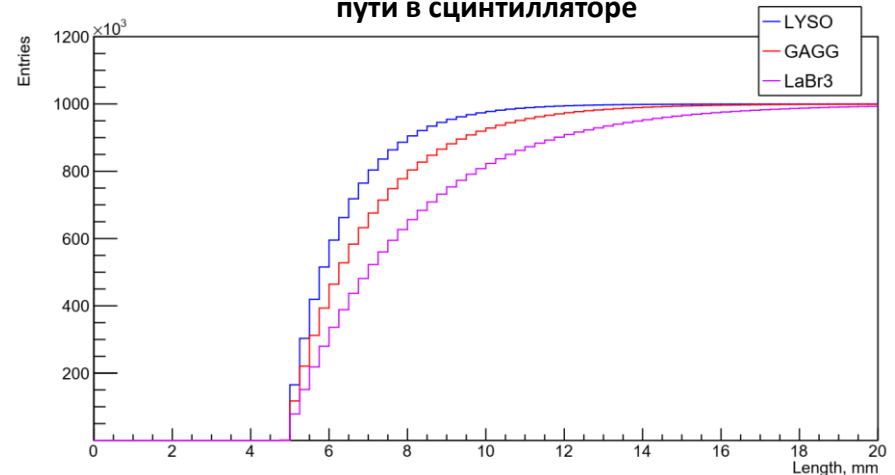


# Сцинтиллятор GAGG(Ce) в сочетании с SiPM SensL FC30035

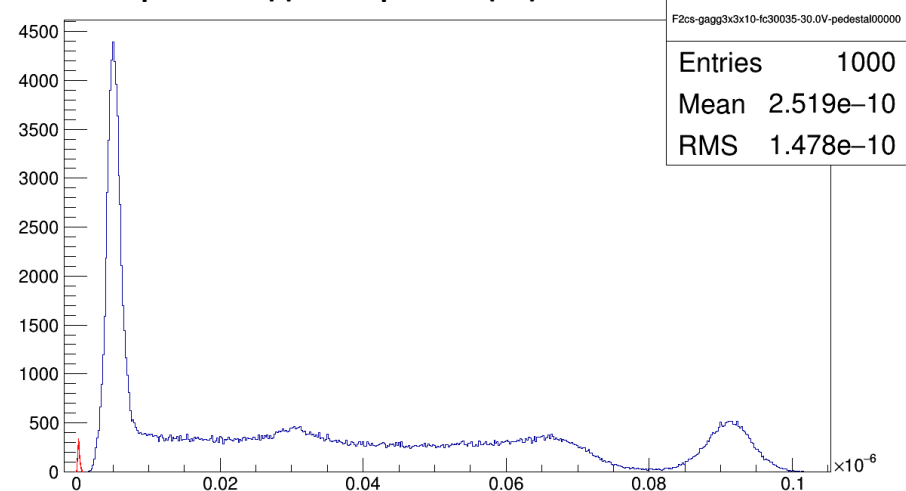
Приведённые характеристики получены на сцинтилляторе производства **Фомос-Материалы (Москва)**

- Высокая плотность и Zэфф
- Проведено моделирование поглощения гамма-излучения 140кэВ: сцинтилляторы GAGG(Ce), LYSO(Ce), LaBr3(Ce)
- Высокий световыход
- ~ 50000 фотонов/МэВ, согласно литературе. **Ведутся измерения**
- Сравнительно небольшое время высвечивания
- ~ **60 нс** (на ФЭУ-130)
- Энергетическое разрешение: **8% @ 662кэВ** (с SiPM SensL FC30035)

Число поглощённых гамма-квантов от длины пути в сцинтилляторе

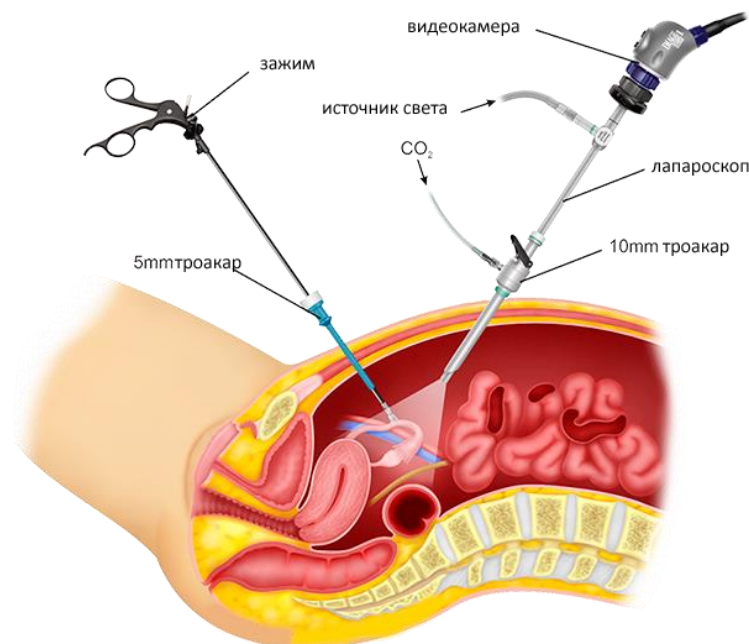


Спектр Cs-137. Детектор GAGG(Ce) - SiPM SensL FC30035



# Развитие Гамма-локатора

- Использование сцинтиллятора GAGG позволяет уменьшить диаметр детектора до 2 мм с незначительной потерей эффективности, что позволяет вводить его при помощи эндоскопа или через троакар
- Применение гамма-зондов в лапароскопии широко освещено в зарубежной литературе
- В России существуют предприятия по производству лапароскопов, с которыми можно сотрудничать



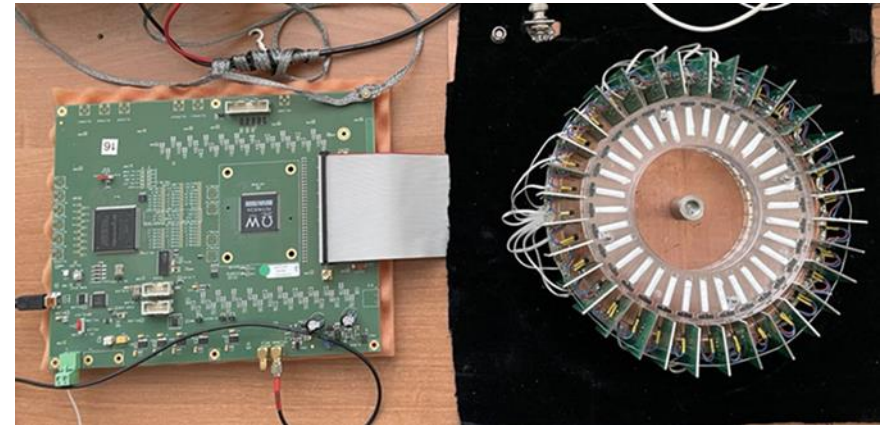


# ПЭТ для лабораторных ЖИВОТНЫХ

- Позитронно-эмиссионная томография получила широкое распространение как в диагностике, так и в научных исследованиях
- Современные многоканальные системы сбора данных позволяют создать рабочий прототип ПЭТ
- Сотрудниками Курчатовского института и кафедры 40 МИФИ создан рабочий 32-канальный макет ПЭТ\*

Может быть использован:

- Для изучения и развития технологии ПЭТ
- Для изучения детекторов для ПЭТ
  - В том числе **матриц SiPM**
- Для обучения



- Сцинтиллятор: GAGG(Ce) 3x3x20мм
- Фотоприёмник: SiPM SensL 3x3мм
- Усилители, дискриминаторы, ВЦП, АЦП, схема совпадений интегрированы в плату Petiroc2A
- ПО позволяет настраивать режимы работы оборудования и собирать сырые данные

\*Подробная информация в отчёте Н. С. Бойко

# Монолитный сцинтиллятор в сочетании с матрицей SiPM

- Увеличение световыхода современных сцинтилляторов и эффективности фотоприёмников позволило перейти от использования дорогих в производстве матриц кристаллов к сравнительно дешёвым монолитным сцинтилляторам
- Существует ряд публикаций, где показано, что применение монолитных сцинтилляторов в сочетании с матрицами SiPM позволяет восстанавливать не только координату в плоскости фотоприёмника, но и **глубину взаимодействия гамма-кванта в сцинтилляторе с точностью ~ 5 мм**
- Методика восстановления 3й координаты взаимодействия позволяет улучшить качество томограммы
- Методика может быть изучена при помощи созданного макета ПЭТ
- Алгоритм восстановления 3 координаты требует использования нейросетей

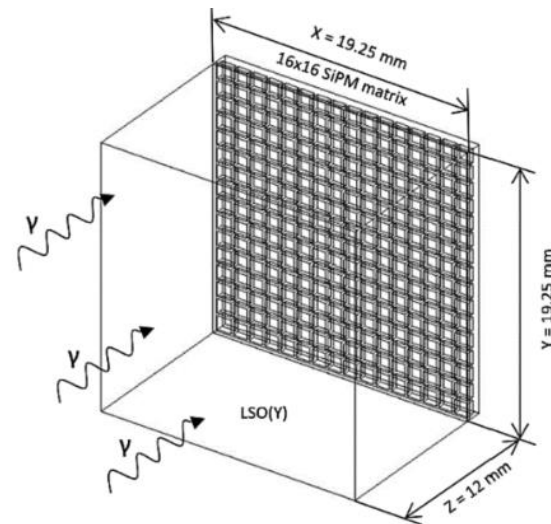
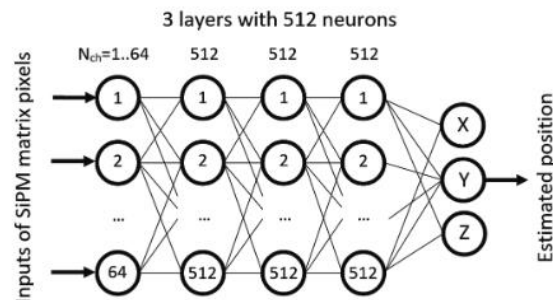


Fig. 1. 256 channel detector wireframe made in GEANT4.



Belov MV, Kozlov VA, Tskhay VS, Zavertyaev MV.  
Resolution estimation in different monolithic PET  
detectors using neural networks. Phys Med. 2023 Feb.

# Экспериментальное изучение монолитного кристалла GAGG с матрицей SensL SB 4x4

- В ФИАН занимаются исследованием ПЭТ, в т.ч. **моделированием** монолитных сцинтилляторов в сочетании с матрицей SiPM
- На кафедре 40 ведутся **экспериментальные исследования** характеристик детектора на основе GAGG 1,2 x 1,0 x 0,8 см с матрицей из 16 SiPM размером 3x3 мм

Планируется:

- Восстановить координаты (x,y) в плоскости фотоприёмника
- Натренировать нейросеть на экспериментальных данных
- Измерить разрешение по 3й координате

