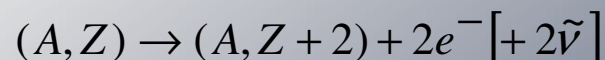


Исследование поведения HPGe-детекторов в жидком аргоне для эксперимента GERDA

*К. Гусев, M. Barnabé Heider, C. Cattadori,
O. Chkvorets, A. Di Vacri, S. Schönert, М. Ширченко*

Двойной бета-распад



$2\beta 0\nu$ -распад

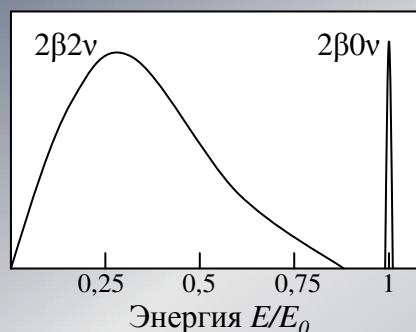
нейтрино – майорановская частица

$m_{\tilde{\nu}} \neq 0$

запрещен в стандартной модели ($\Delta L = 2$)

Ядро	⁷⁶ Ge	¹³⁶ Xe	¹³⁰ Te	¹¹⁶ Cd	⁸² Se	¹⁰⁰ Mo	⁹⁶ Zr	¹⁵⁰ Nd	⁴⁸ Ca
Распр. (%)	7,44	8,9	33,80	7,49	8,73	9,63	2,80	5,64	0,187
Q (МэВ)	2,039	2,467	2,529	2,804	2,992	3,034	3,351	3,368	4,276

Очень редкие процессы
($T_{1/2} > 10^{20}$ лет)



Экстремально низкий фон

Высокая эффективность регистрации

Хорошее энергетическое разрешение

Германиевые детекторы (HPGe) из ⁷⁶Ge

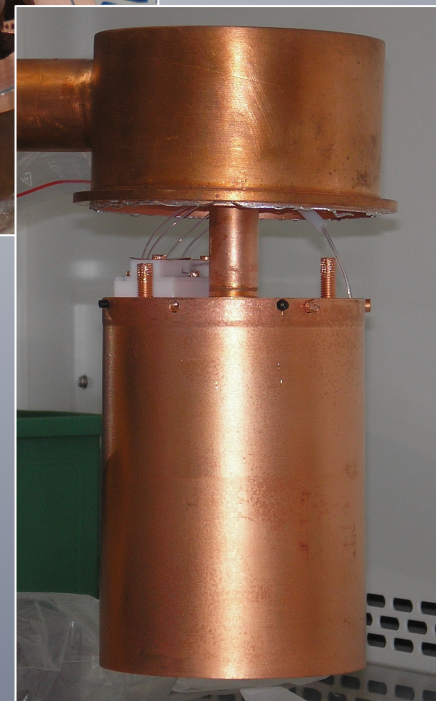
Наилучший предел получен в германиевых экспериментах Heidelberg-Moscow (HdM) и IGEX

подземная лаборатория LNGS (1400 м или 3800 м.в.э.)
HdM: 5 детекторов из ⁷⁶Ge (11,5 кг)
фон в области искомого эффекта = 0,23 отсчетов/(год×кэВ×кг)

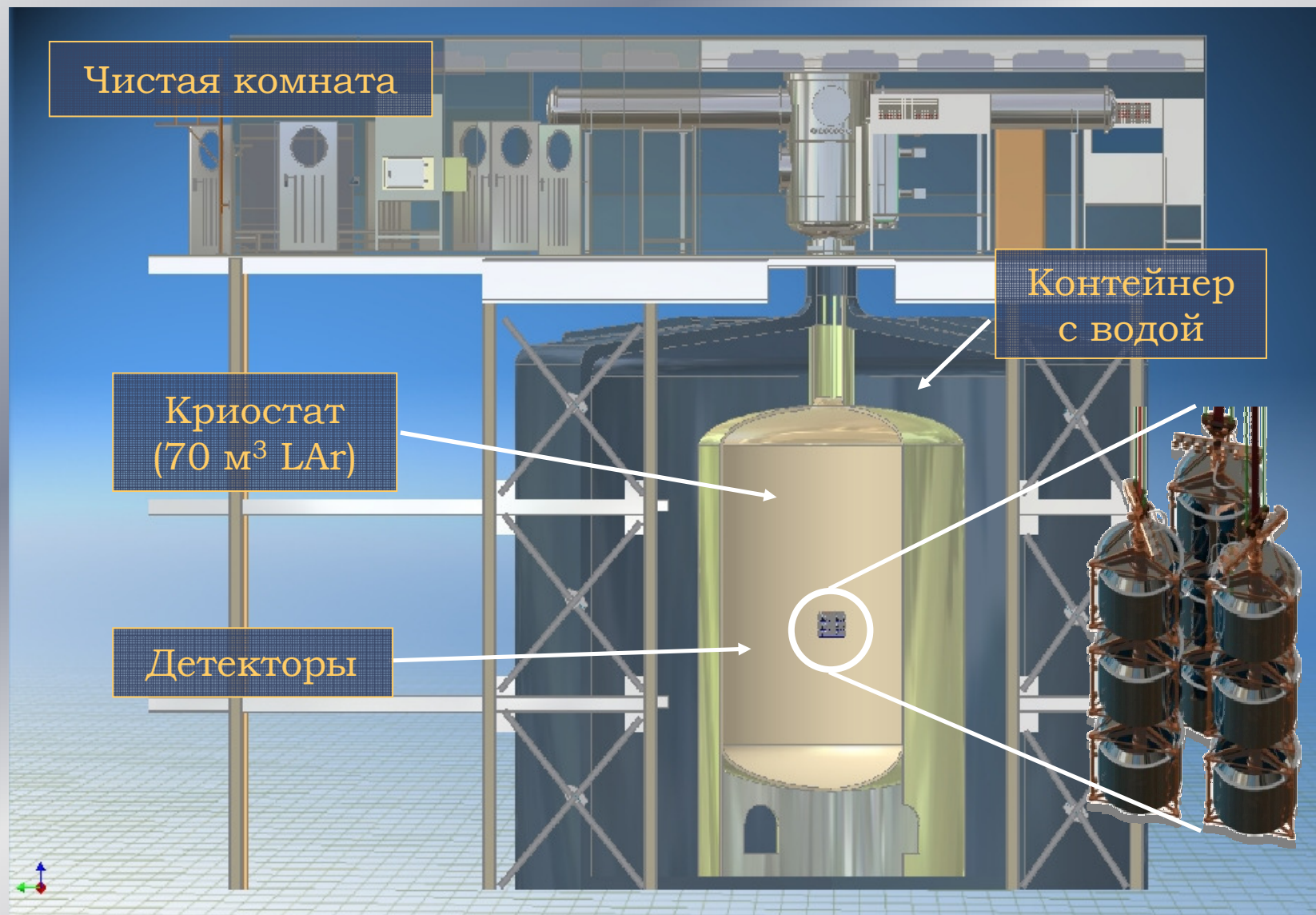
$$T_{1/2}^{2\beta 0\nu} (^{76}\text{Ge}) > 1,6 \times 10^{25} \text{ лет}$$

$$\langle m_{\tilde{\nu}} \rangle < 1,1 \text{ эВ}$$

Эксперименты HdM и IGEX



Эксперимент GERDA (GERmanium Detector Array)



Эксперимент GERDA

Фазы эксперимента:

✚ Фаза I

→ Исследования с переделанными обогащенными детекторами из экспериментов HdM и IGEX (17.9 kg), и обычными детекторами из эксперимента Genius-TF (15 kg)

→ 10^{-2} отсчетов/(год×кэВ×кг)

→ $T_{1/2} > 3 \cdot 10^{25}$ лет, $\langle m_{\nu} \rangle < (0,3-0,9)$ эВ

✚ Фаза II

→ Новые секционированные детекторы (20 кг обогащенных + несколько необогащенных)

→ 10^{-3} отсчетов/(год×кэВ×кг)

→ $T_{1/2} > 1.5 \cdot 10^{26}$ лет, $\langle m_{\nu} \rangle < 110$ мэВ

✚ Возможная фаза III

→ Несколько тонн Ge (объединение GERDA и Majorana)

→ $T_{1/2} > 2 \cdot 10^{27}$ лет, $\langle m_{\nu} \rangle < 40$ мэВ

На сегодня:

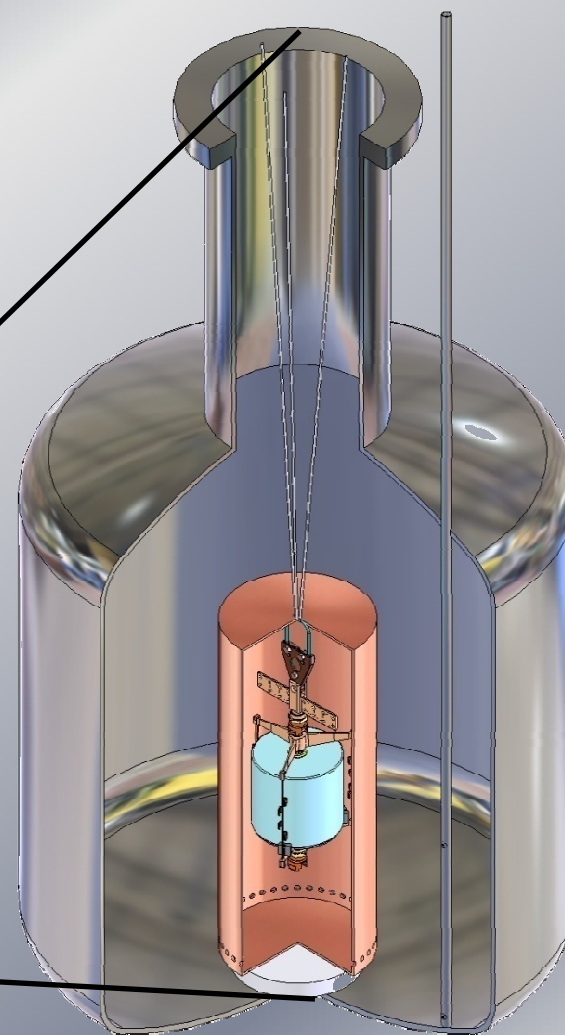
идет подготовка к заливке

Планируется начать измерения в этом году!



Тестовая лаборатория (GDL – GERDA Detector Laboratory)

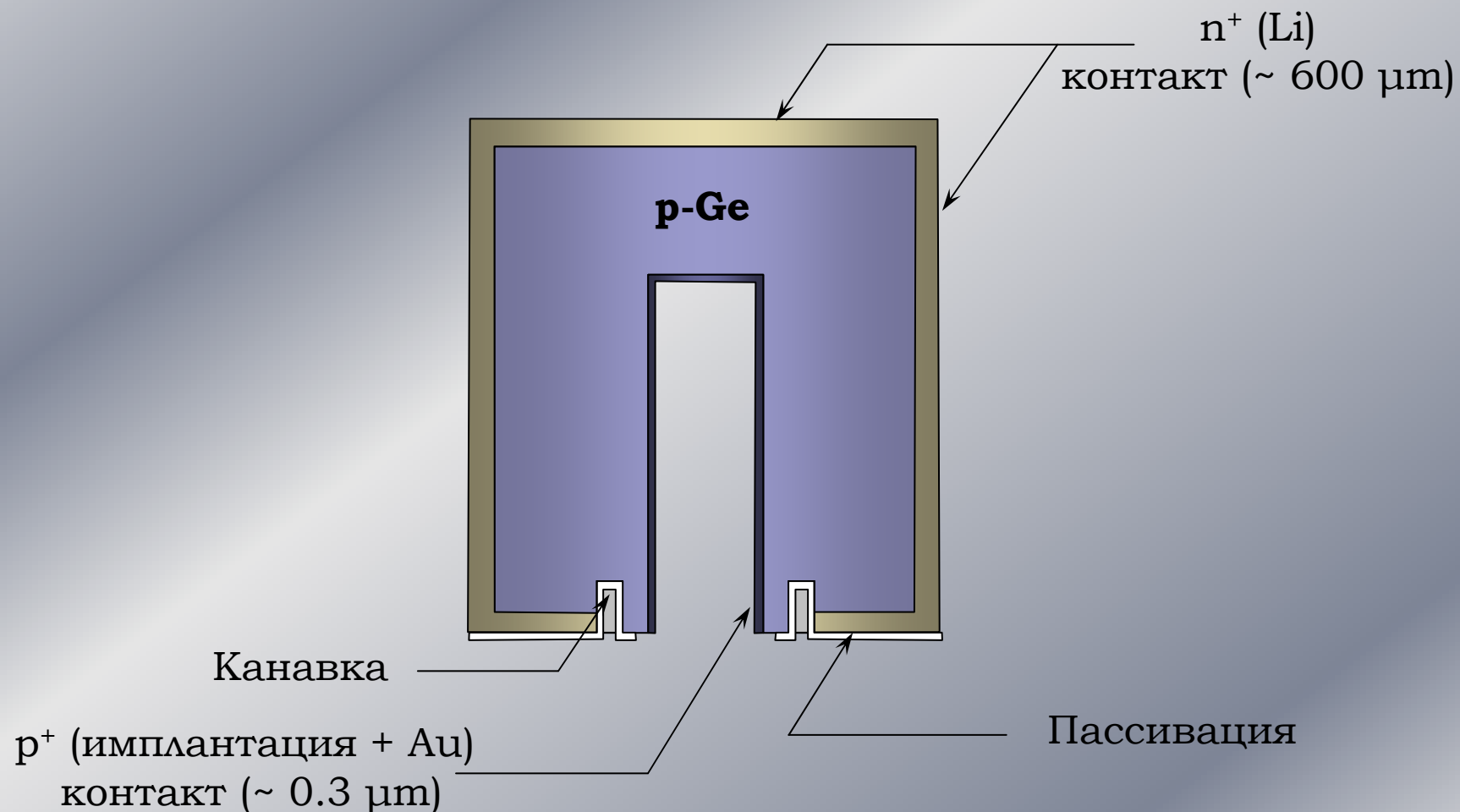
GDL – это подземная лаборатория в LNGS с двумя испытательными стендами, в которых тестируются **все** детекторы первой фазы. Все операции с детекторами происходят в атмосфере азота.



Дьюар 70 л (LAr или LN₂)

Прототипы детекторов для первой фазы эксперимента GERDA

Конструкция детекторов:



Прототипы детекторов для первой фазы эксперимента GERDA

Необогащенные открытые HPGe-детекторы исследовались в аргоне/азоте для ответов на следующие вопросы:



- ✚ Подходят ли для детекторов первой фазы разработанные оправки?
- ✚ Насколько трудоемок и длителен процесс монтажа в эти оправки?
- ✚ Как меняются параметры детекторов после переделки?
- ✚ Сколько раз можно нагреть-охладить детектор без каких-либо последствий?
- ✚ Каково энергетическое разрешение в криогенной жидкости?
- ✚ Не ухудшаются ли характеристики со временем?

Конструкция оправок для детекторов

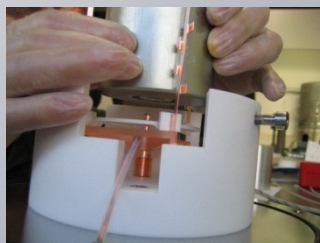
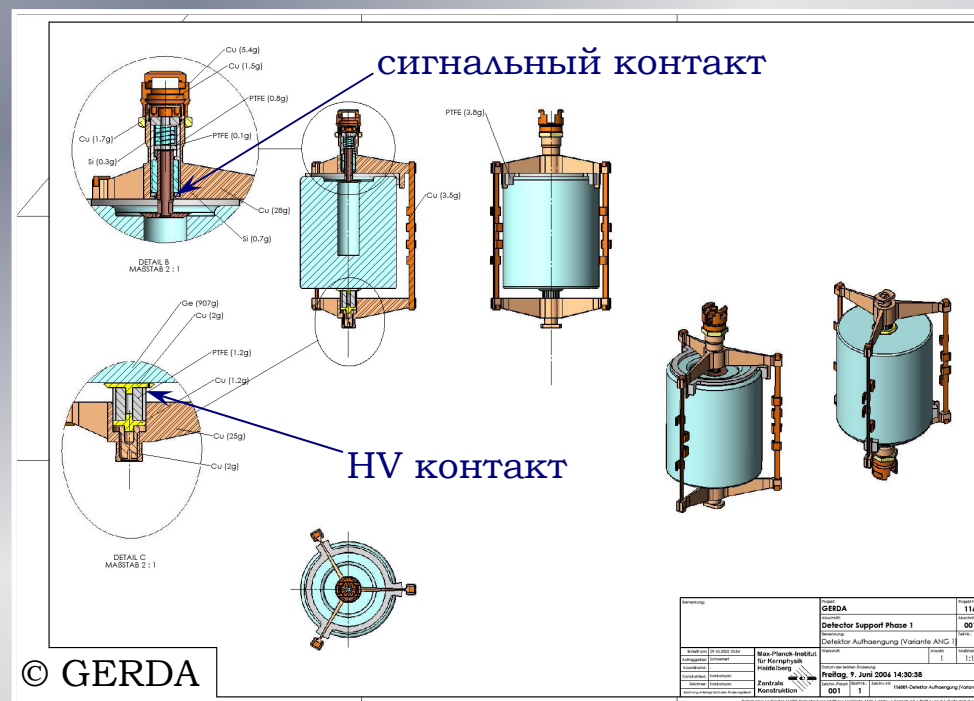
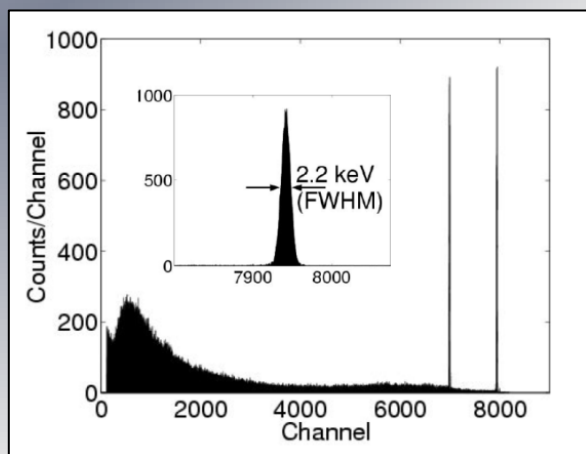
Оправки сделаны из
низкофоновых материалов

→ медь (80 гр)

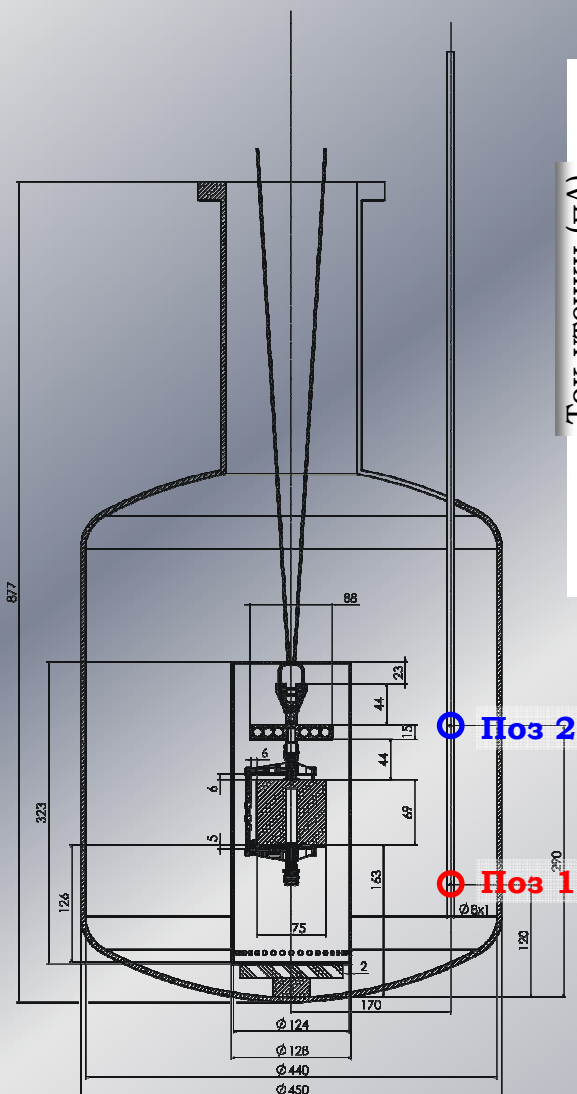
→ тефлон

→ кремний

Энергетическое разрешение совпадает с измеренным в обычном криостате

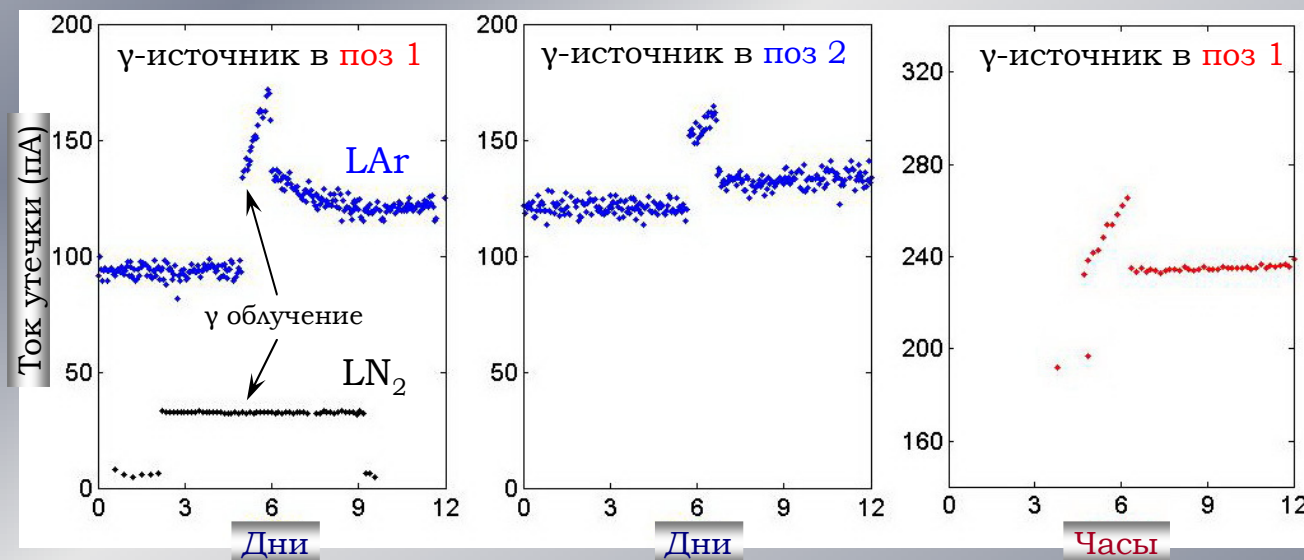


Возрастание тока утечки под действием γ облучения



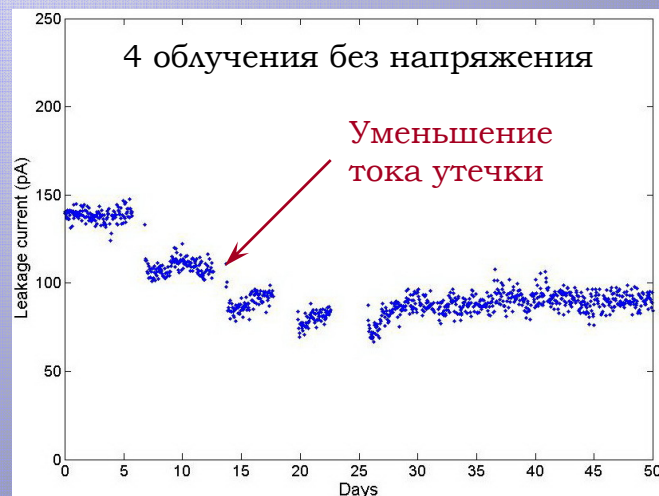
+ HV
(+ на n^+ -контакте)

- HV
(- на p^+ -контакте)



γ -облучение детектора, работающего в аргоне (не в азоте!), приводит к **росту тока утечки**. Увеличение тока пропорционально:

- интенсивности ионизации в том объеме аргона, который находится со стороны сигнального контакта
- полярности напряжения смещения детектора (ток выше и скорость его роста больше при отрицательном напряжении)

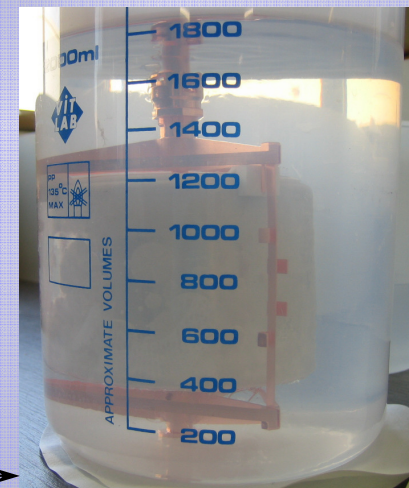


Этот процесс обратим!

Ток уменьшается до первоначального значения:

⚡ после облучения γ -квантами без напряжения на детекторе

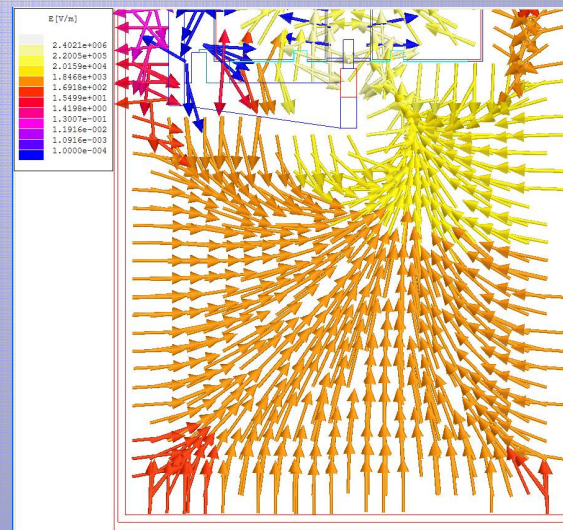
⚡ после цикла нагрева-охлаждения



Наиболее вероятное объяснение:
накопление заряда на
пассивирующем слое

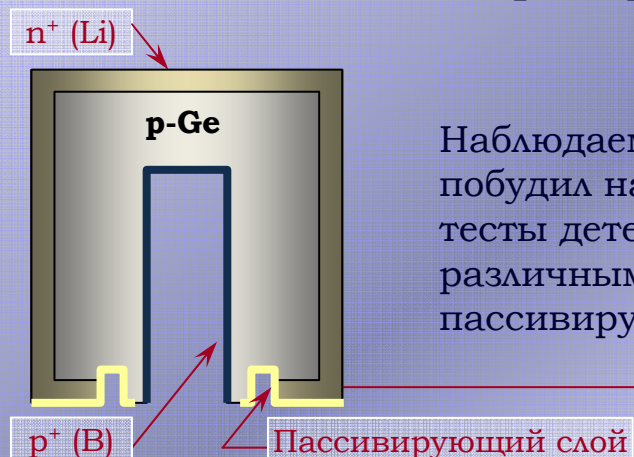


Заряды, возникающие вследствие
ионизации аргона, собираются
электрическим полем на
пассивирующем слое и изменяют
его проводимость

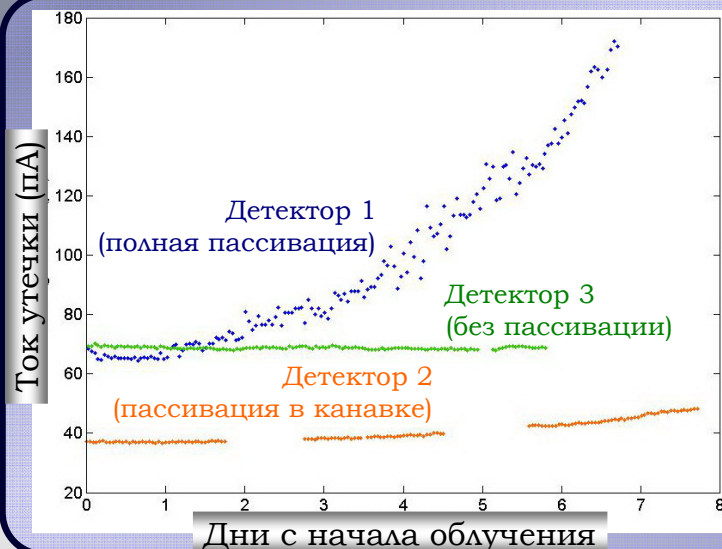
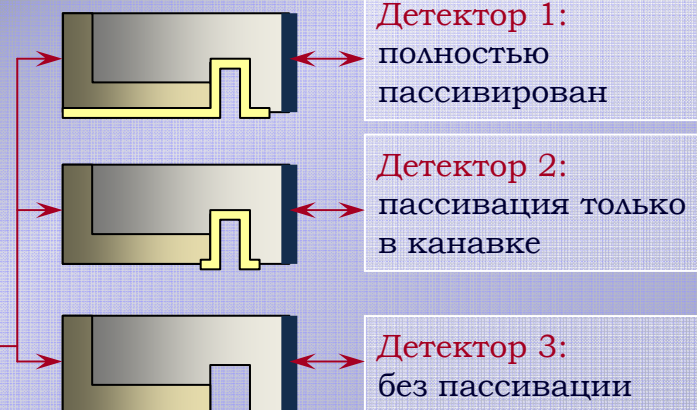


Конфигурация
эл. поля

3 детектора с различными типами пассивации



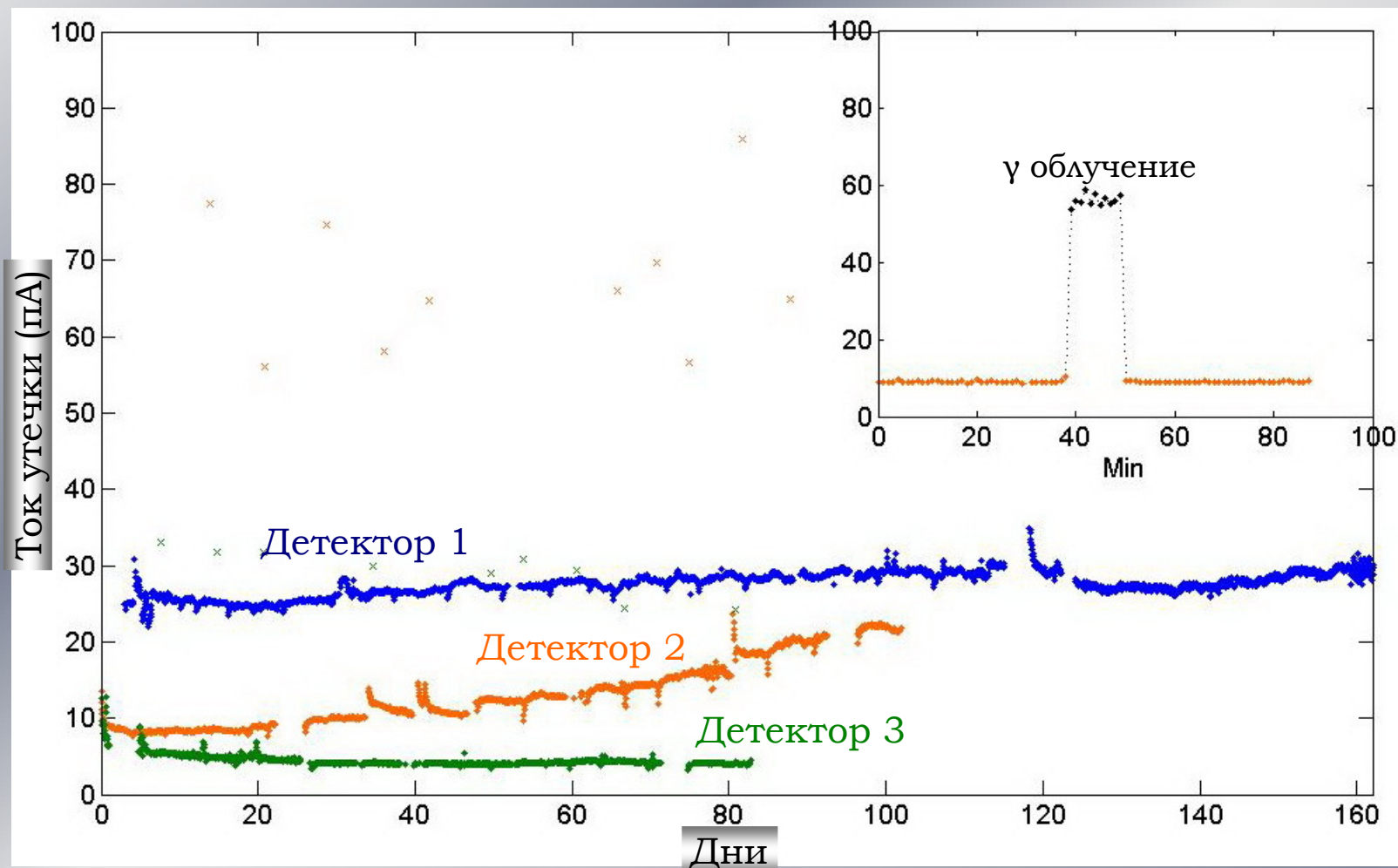
Наблюдаемый эффект побудил нас провести тесты детекторов с различными типами пассивирующего слоя



Облучение детекторов с различными типами пассивации

- Детектор 1 – скорость **возрастания** тока ~ 40 пА/д
- Детектор 2 (пассивация в канавке) – ток растет медленнее, чем в первом случае (1,4 пА/д)
- Детектор 3 (без пассивации) – ток **не** меняется

Длительные измерения



- Детектор 1 непрерывно работал в аргоне в течение 7 месяцев.
- Детекторы 2 и 3 работали 4 и 3 месяца соответственно. Для выяснения эффекта от периодической калибровки в эксперименте GERDA, каждый из детекторов один раз в неделю по 10 минут облучался γ -источником (^{60}Co).

Обогащенные детекторы для первой фазы GERDA



2005: Детекторы в GDL



2006: Распаковка, взвешивание, упаковка в контейнеры для хранения



2006-2008: Исследования с прототипами в аргоне и азоте

Скоро: начало работы в GERDA



Настоящее время: Измерение характеристик детекторов в аргоне



2008: Переделка на фирме Canberra

Результаты и выводы

- ✚ Более 3 лет исследований работы открытых HPGe-детекторов в азоте/аргоне:
 - разработанные низкофоновые оправки подходят для детекторов фазы I эксперимента GERDA
 - осуществлено ~ 100 циклов нагрева-охлаждения детекторов без ухудшения их характеристик
 - параметры детекторов остаются стабильными в течение длительного времени
 - впервые продемонстрирован эффект возрастания тока утечки детекторов под действием γ -облучения в аргоне
 - определено, что в GERDA необходимо использовать детекторы без пассивирующего слоя

- ✚ Результаты наших исследований позволяют говорить о принципиальной возможности осуществления длительного эксперимента с открытыми HPGe-детекторами в жидком аргоне