

Межкафедральная лаборатория  
экспериментальной ядерной физики  
НИЯУ МИФИ

**Компьютерное моделирование  
электрических полей  
в нейтринном двухфазном ксеноновом детекторе**

Студент 4-го курса вечернего  
факультета автоматики,  
старший лаборант:  
Тоболкин Антон

Международная молодежная научная школа-конференция  
"Современные проблемы физики и технологий"- 2016

# Содержание

- Общие сведения об эмиссионных детекторах
- Электрические поля в эмиссионных детекторах
- Детектор РЭД-100
- Электродная система детектора
- Значимость результатов моделирования электрических полей в детекторе
- Результаты моделирования
- Заключение

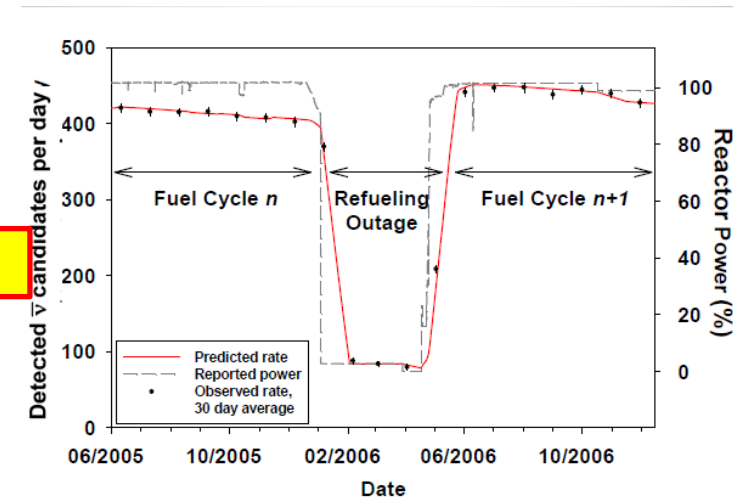
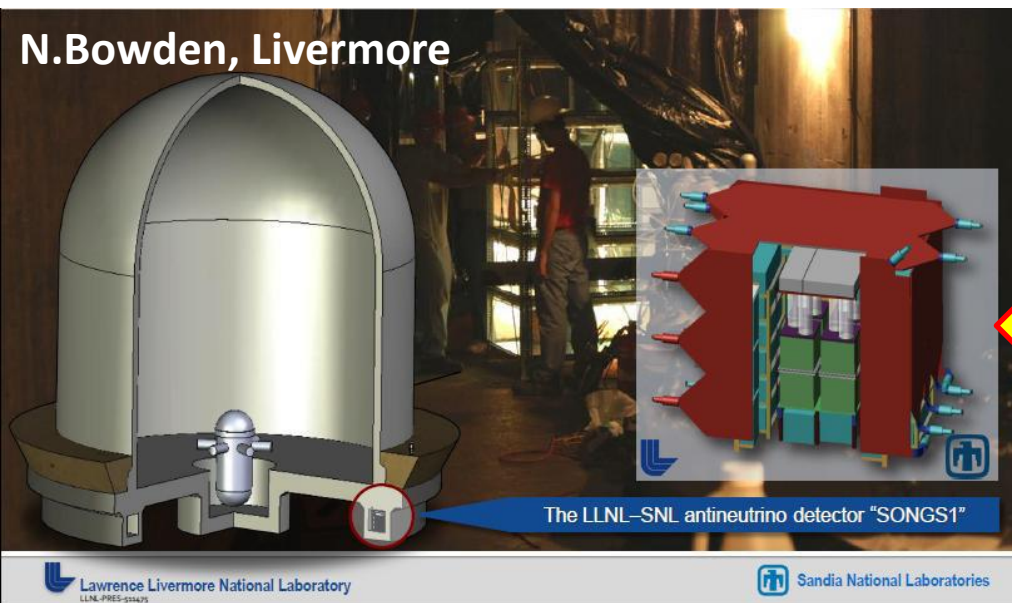
# Области применения

## двухфазных эмиссионных детекторов :

- поиск тёмной материи во Вселенной (в виде слабовзаимодействующих массивных частиц – WIMP-ов weakly interacting massive particles);
- обнаружение процесса упругого когерентного рассеяния нейтрино на атомных ядрах;
- поиска позитронного безнейтринного бета-распада.

# Контроль ядерных реакторов

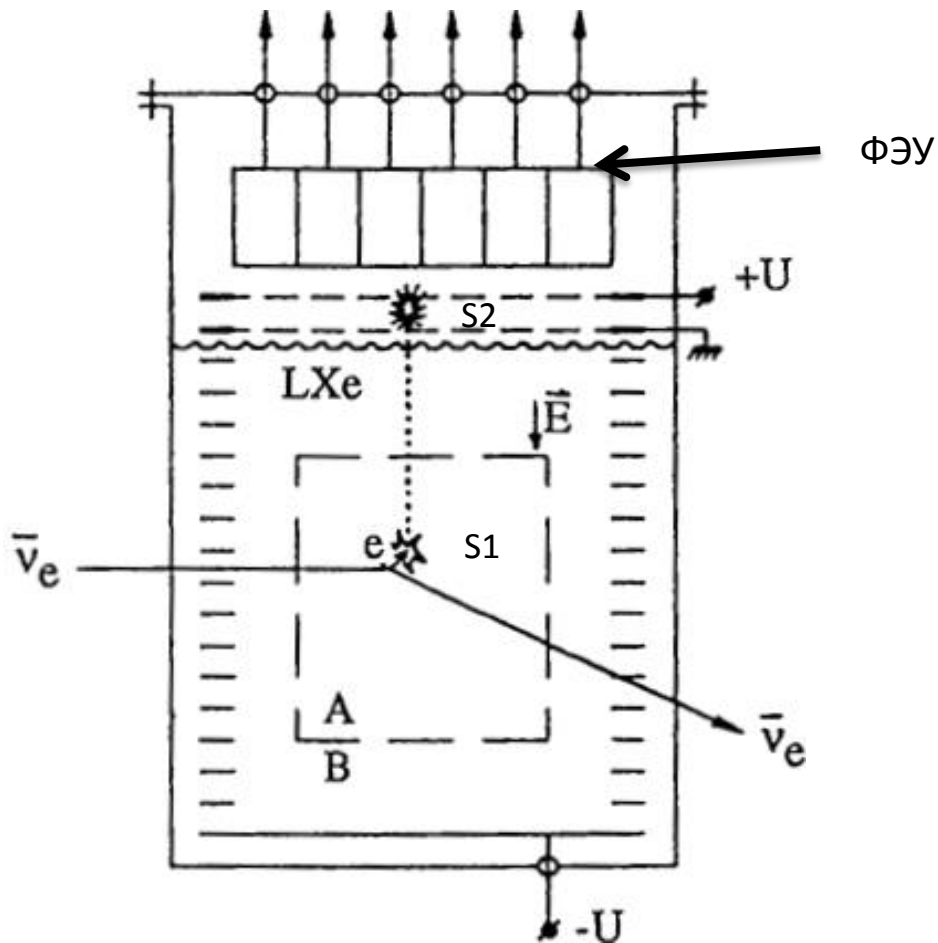
Огромное количество нейтрино испускается ядерным реактором. Эти нейтрино свободно пролетают сквозь защиту и несут информацию о состоянии активной зоны



Интерес международных агентств ,ответственных за нераспространение ядерного оружия

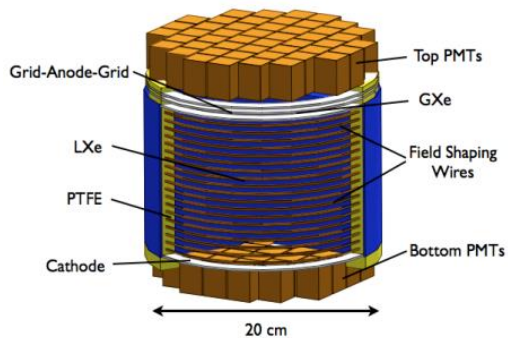
# Идея двухфазных эмиссионных детекторов:

Эффективная регистрация слабовзаимодействующих частиц и проникающих излучений возможна только с помощью детекторов с массивной и плотной рабочей средой. Поскольку энергия, оставленная в рабочей среде детектора в этих условиях очень мала, необходимы специальные меры, чтобы усиливать слабые сигналы.

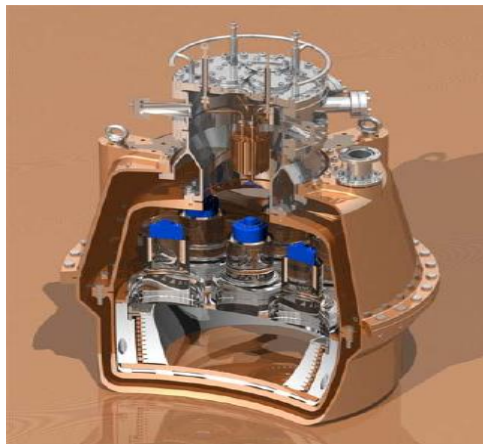


- возможность эффективного усиления сигнала даже одиночного фотона
- съём сигнала для одного события по двум каналам - ионизационному S1 и сцинтилляционному S2
- эффективная активная защита от естественной радиации (жидкий ксенон)
- неограниченность по размерам и массе (теоретически)

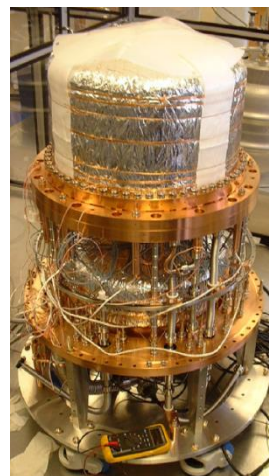
# 2003-2015 Двухфазные эмиссионные детекторы



**XENON10 (2006-2008)**



**ZEPLIN II**



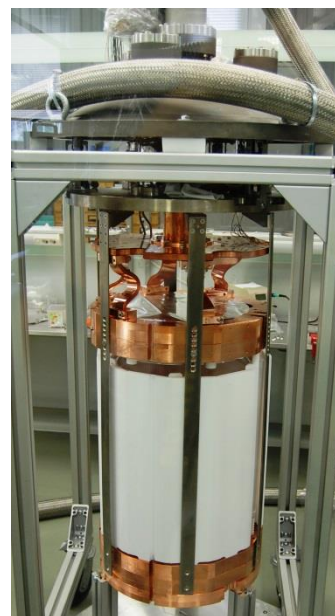
**ZEPLIN III (2006-2011)**



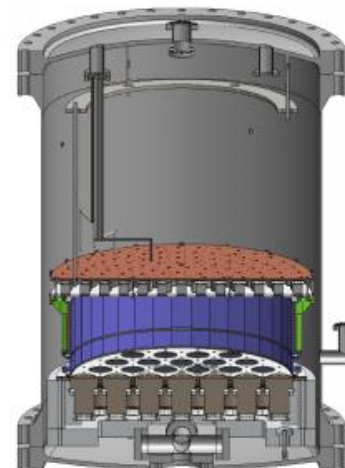
**LUX (2014)**



**XENON 100 (2011-2012)**



**РЭД 100 (2016-2017)**



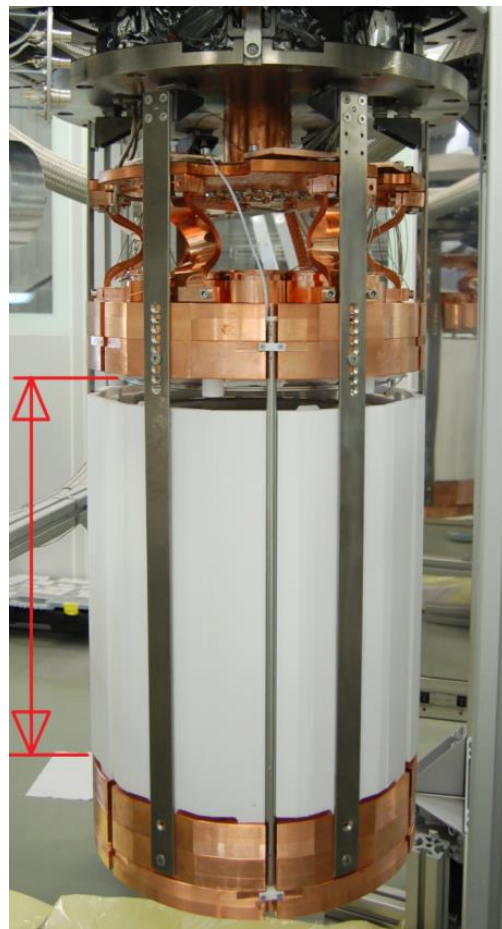
**Panda X-I**



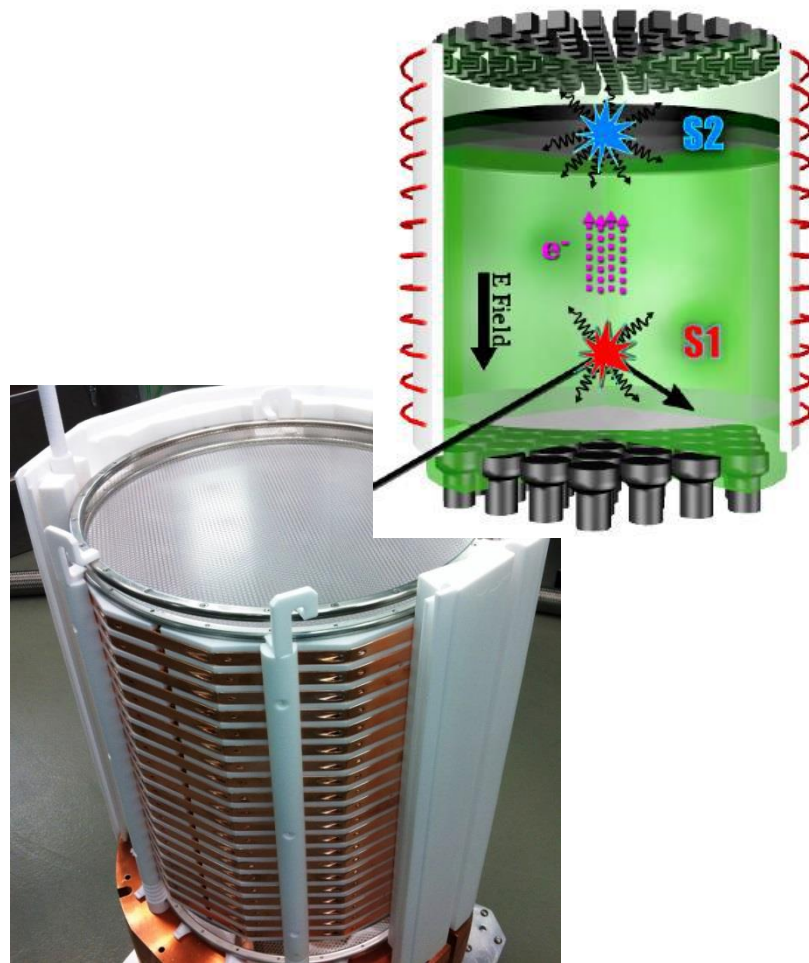
РЭД 100 - российский эмиссионный детектор, использующий в качестве рабочего объема 240 кг ксенона, из которых 100 кг являются чувствительными



Внешний вид



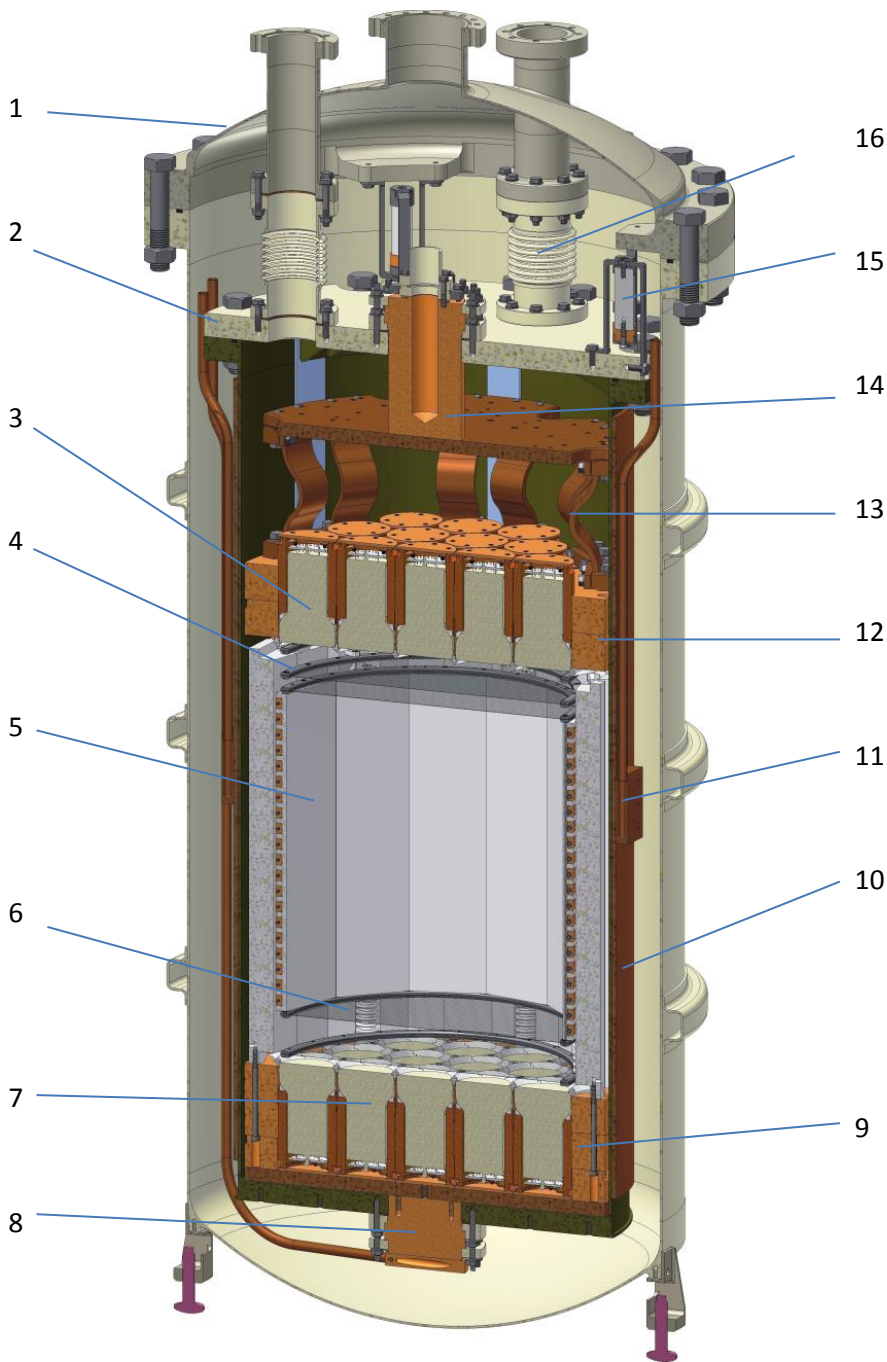
Внутренний вид



Электродная система

# Общий вид установки РЭД-100

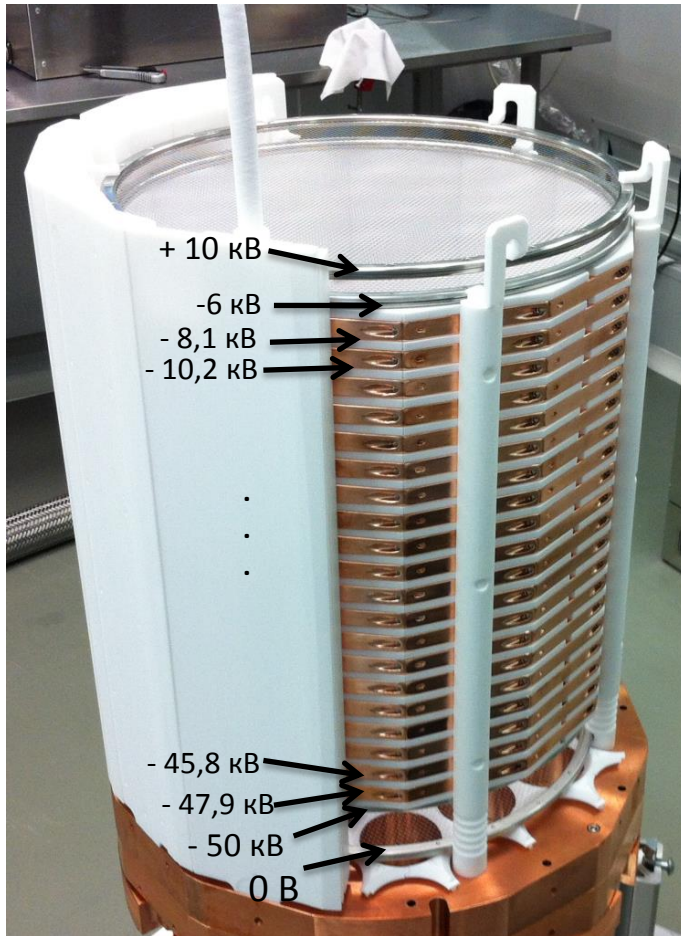




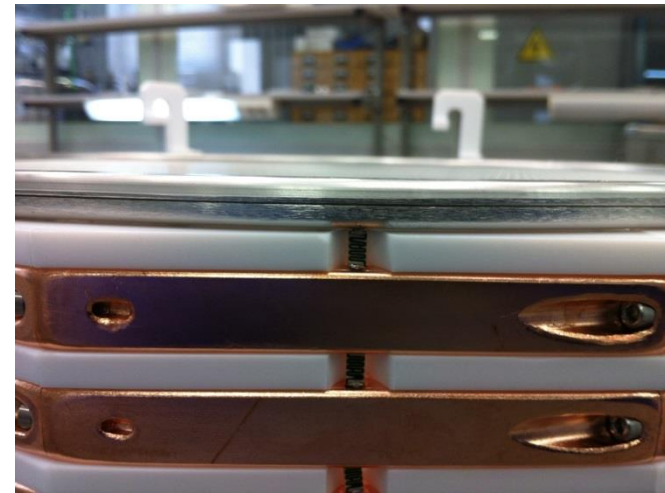
## Устройство детектора РЭД-100:

- 1 – внешний (тёплый) сосуд криостата,
- 2 – внутренний (холодный) сосуд криостата,
- 3 – верхняя матрица из девятнадцати ФЭУ типа НАМАМАТСУ R11410-20,
- 4 – сетчатый анод и вытягивающая сетка,
- 5 – рабочий объем, окруженный тефлоновым отражателем со встроенными полезадающими электродами,
- 6 – сетчатый катод,
- 7 – нижняя матрица из девятнадцати ФЭУ,
- 8 – нижний центральный теплосъемник с термосифоном,
- 9 – медная обойма для нижней матрицы ФЭУ,
- 10 – медный кожух холодного сосуда криостата,
- 11 – один из двух боковых теплосъемников с термосифонами,
- 12 – медная обойма верхней матрицы ФЭУ,
- 13 – гибкий тепловой мост,
- 14 – верхний центральный теплосъемник с медным диском, на котором конденсируется ксенон,
- 15 – теплоизолирующий подвес на основе материала Vespel,
- 16 – сильфонная тепловая развязка на трубопроводе для вывода кабелей.

# Электродная система детектора

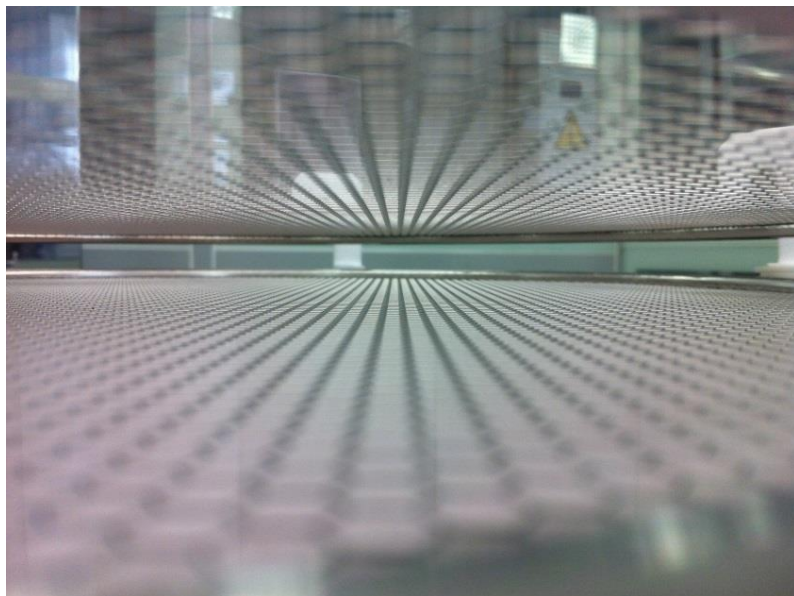
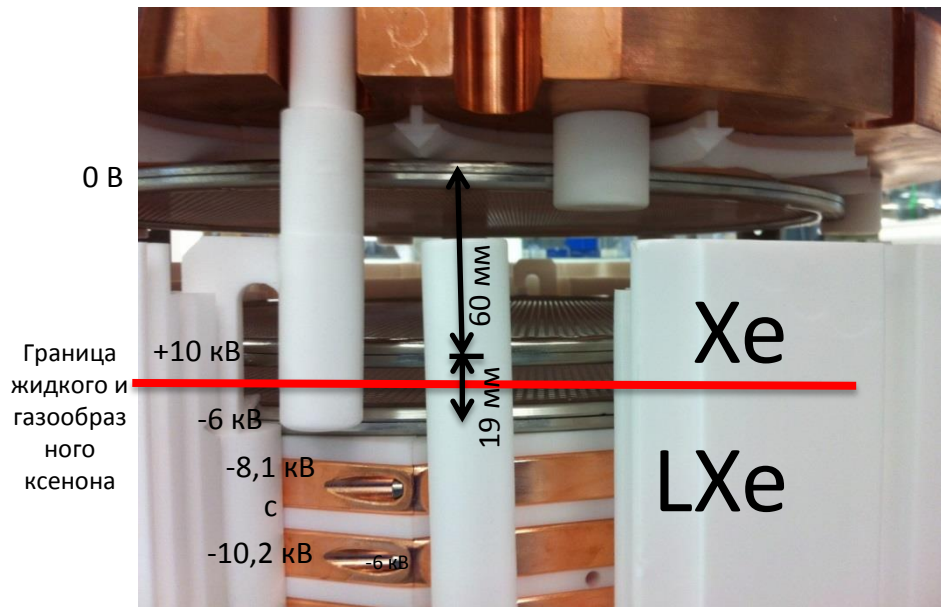


Для получения равномерного электрического поля между катодом и анодом, используется набор из 20 равноотстоящих медных колец встроенных в тефлон.

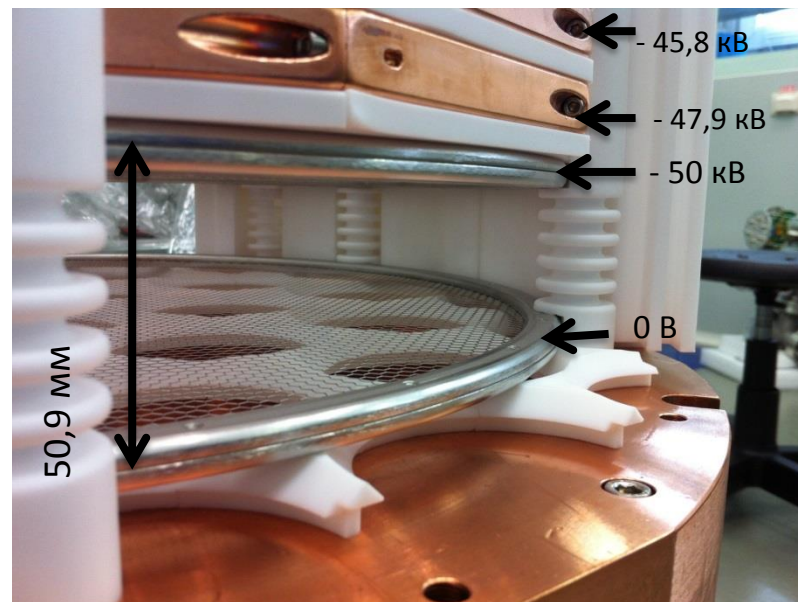


Медные кольца соединены резисторами в 1 ГОм

# Верхняя часть



# Нижняя часть



Рабочий объём детектора, являющийся герметичной камерой криостата, заполнен жидким благородным газом (ксеноном) до некоторого уровня.

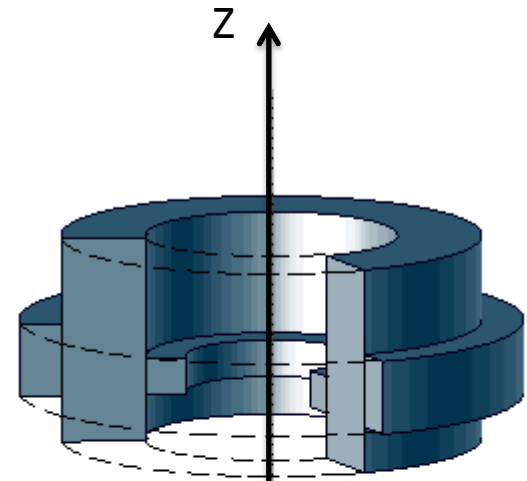
# *Значимость результатов моделирования электрических полей в РЭД 100:*

- Определение величины и направления вектора напряжённости электрического поля в каждой внутренней точке детектора для обнаружения мест потенциальных пробоев.*
- Определение областей (на краях) где электрическое поле неоднородно т.к. неоднородность может приводить к ошибкам в определении координат событий и энерговыделения.*
- Выявление других непредвиденных проблем.*

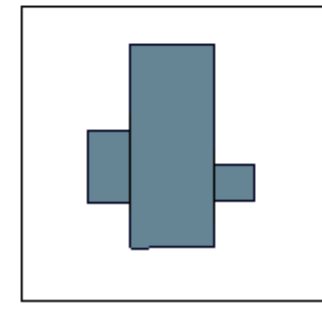
# Результаты моделирования

Моделирование проводилось в программе ELCUT студенческий 6.0. Модель создавалась 2-мерная аксиально-симметричная (размерность пространства) т.к. детектор является симметричным относительно вертикальной оси.

Реальный объект  
Осесимметричный

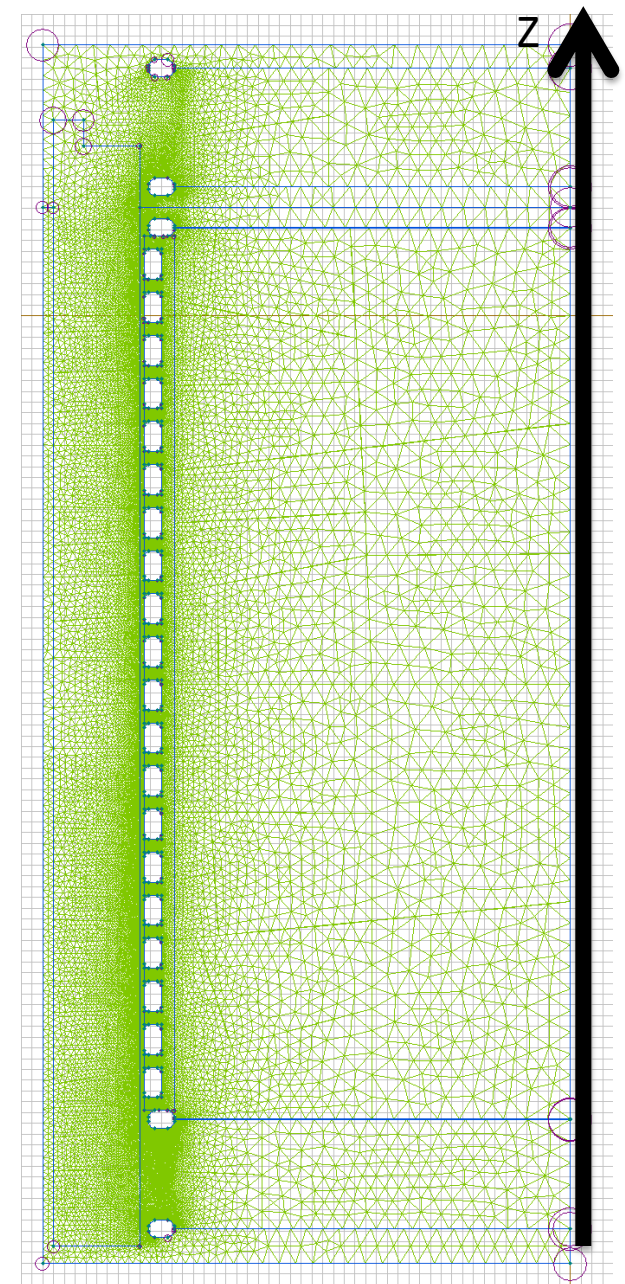


Модель



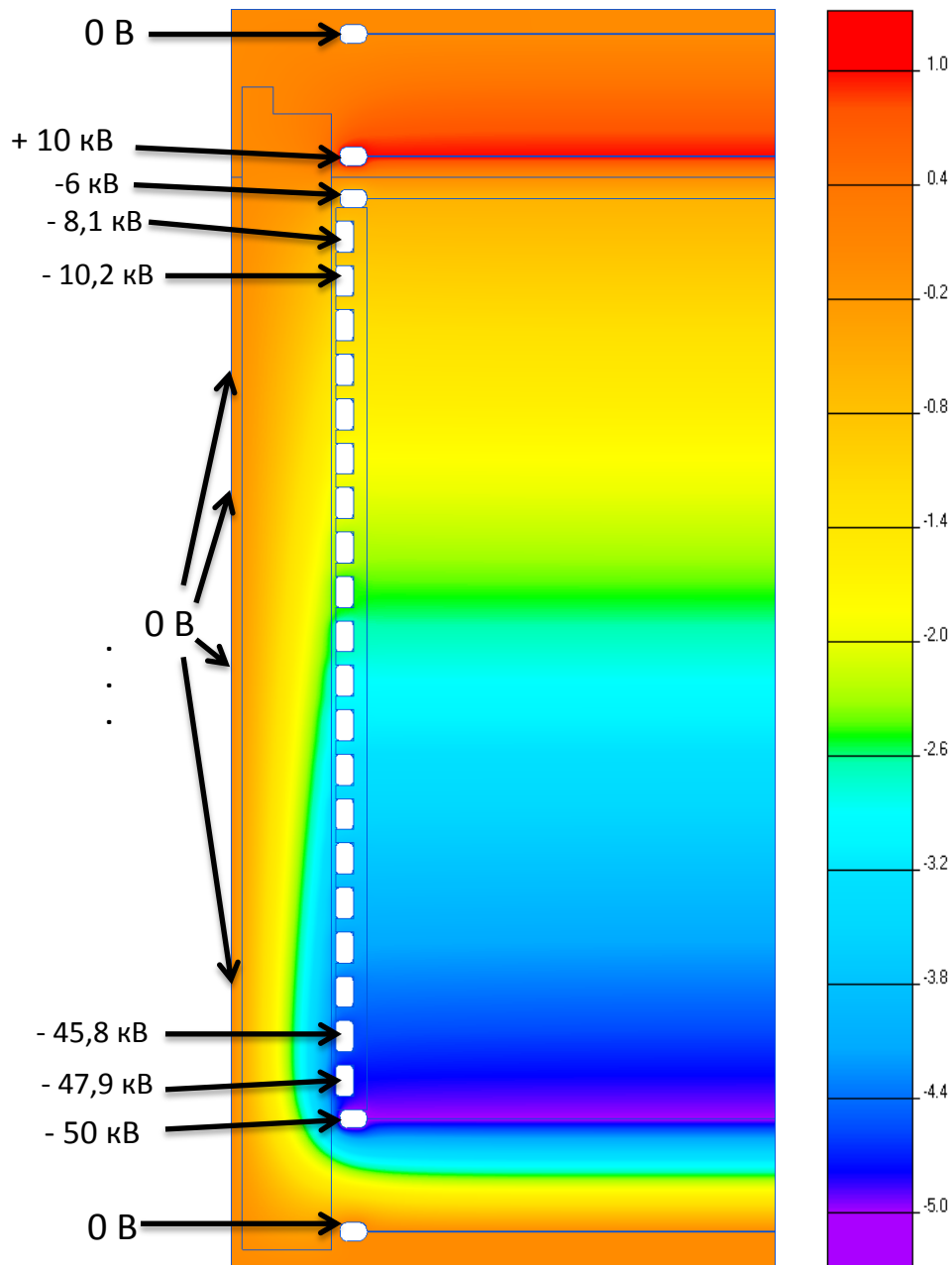
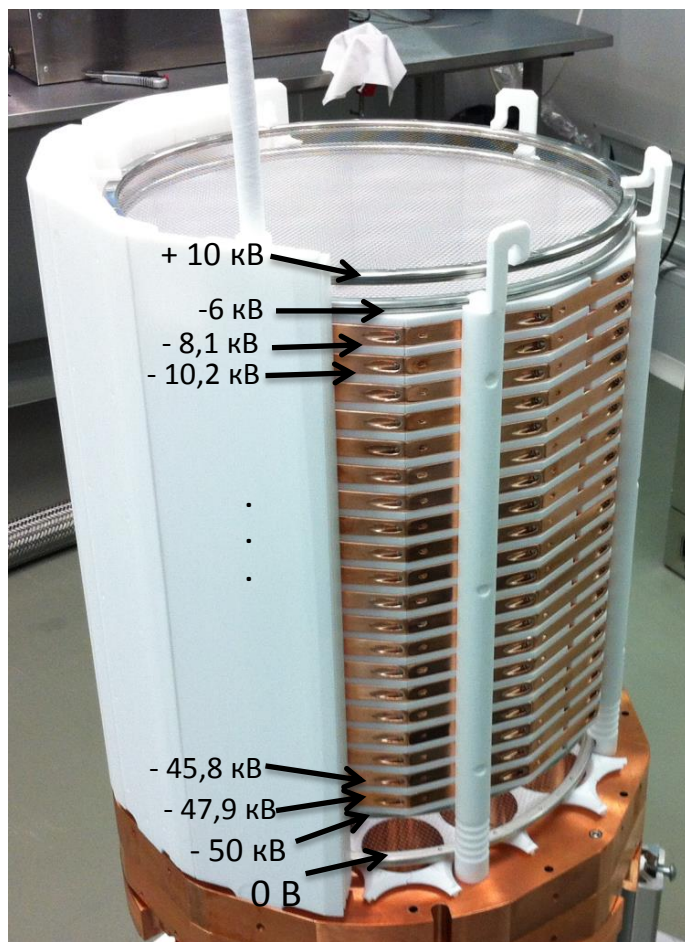
При построении модели использовался метод конечных элементов.

В нашем случае моделирование называется электростатическим т.к, нет источников магнитных полей, а распределение электрического заряда неизменно.

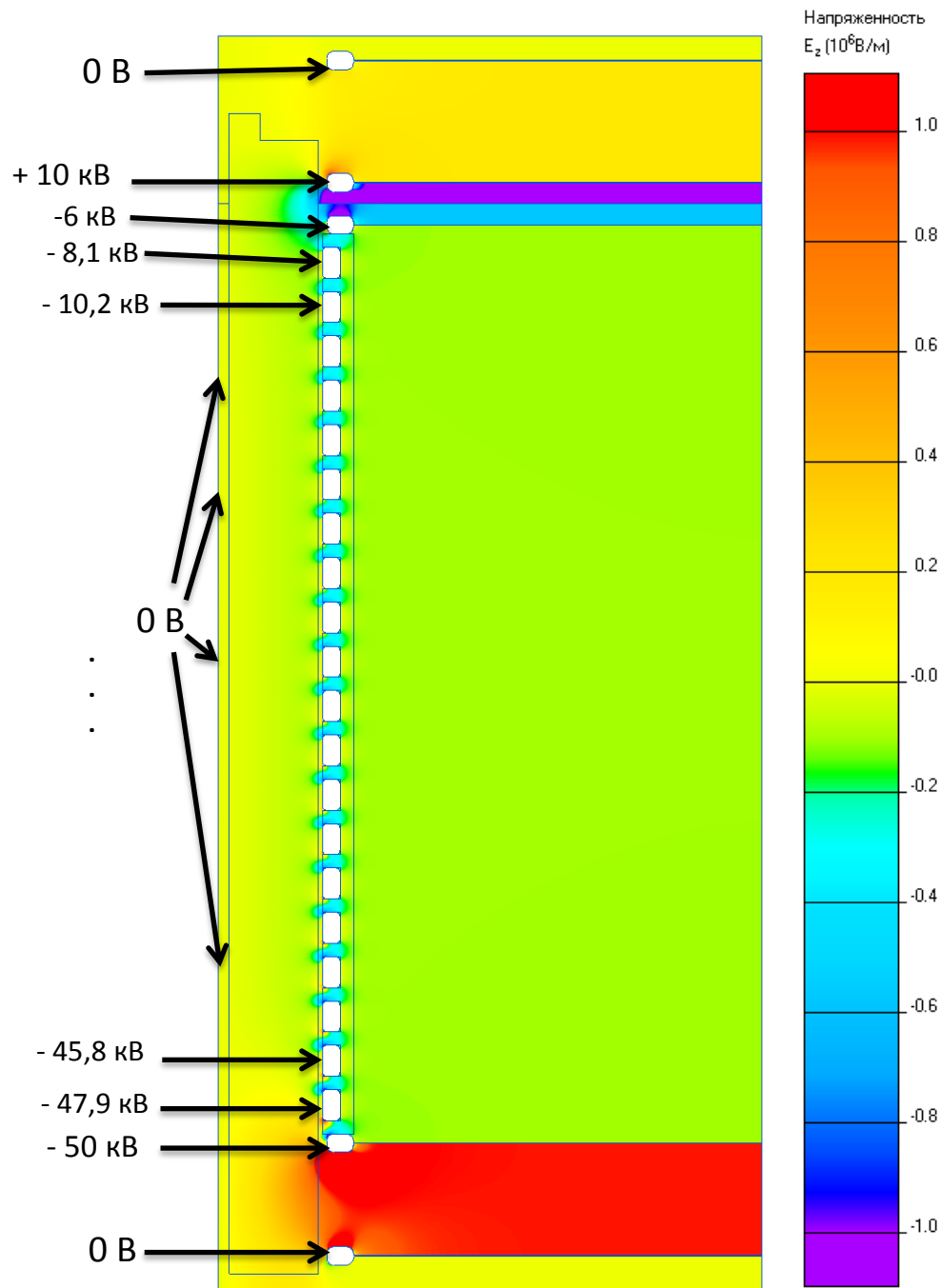


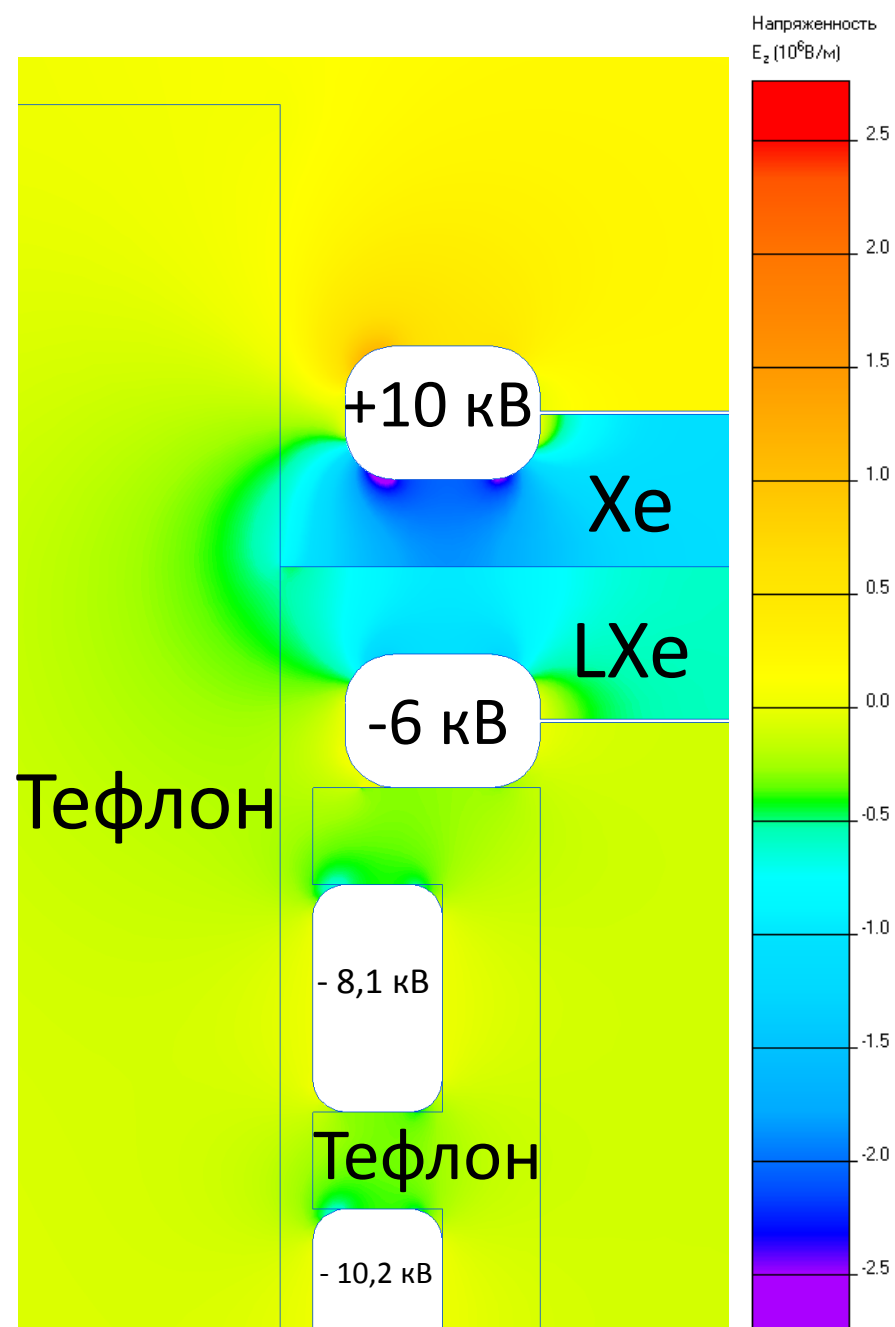
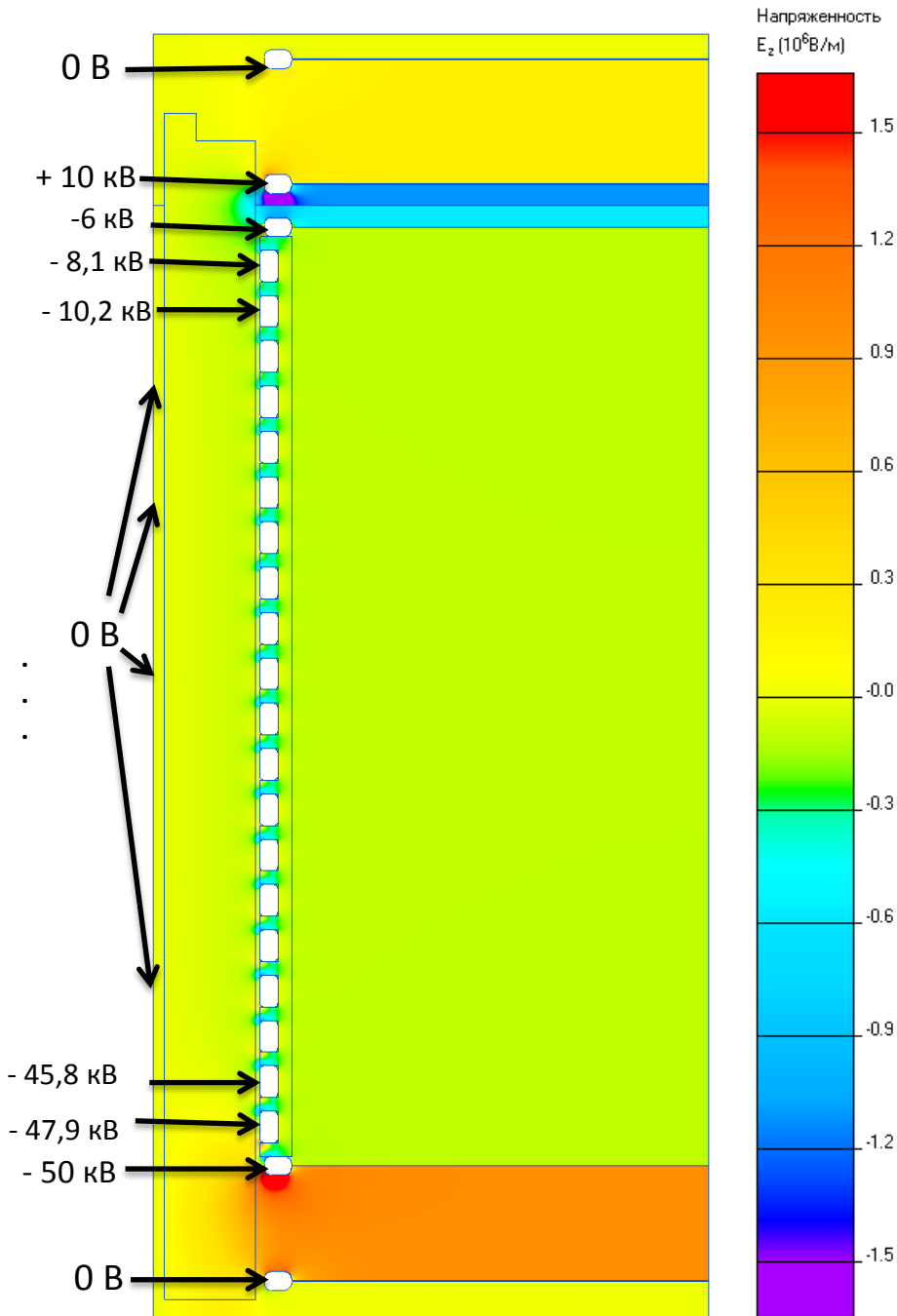
Сетка конечных элементов, используемая для дискретизации модели.

# Распределение потенциала в объеме детектора.

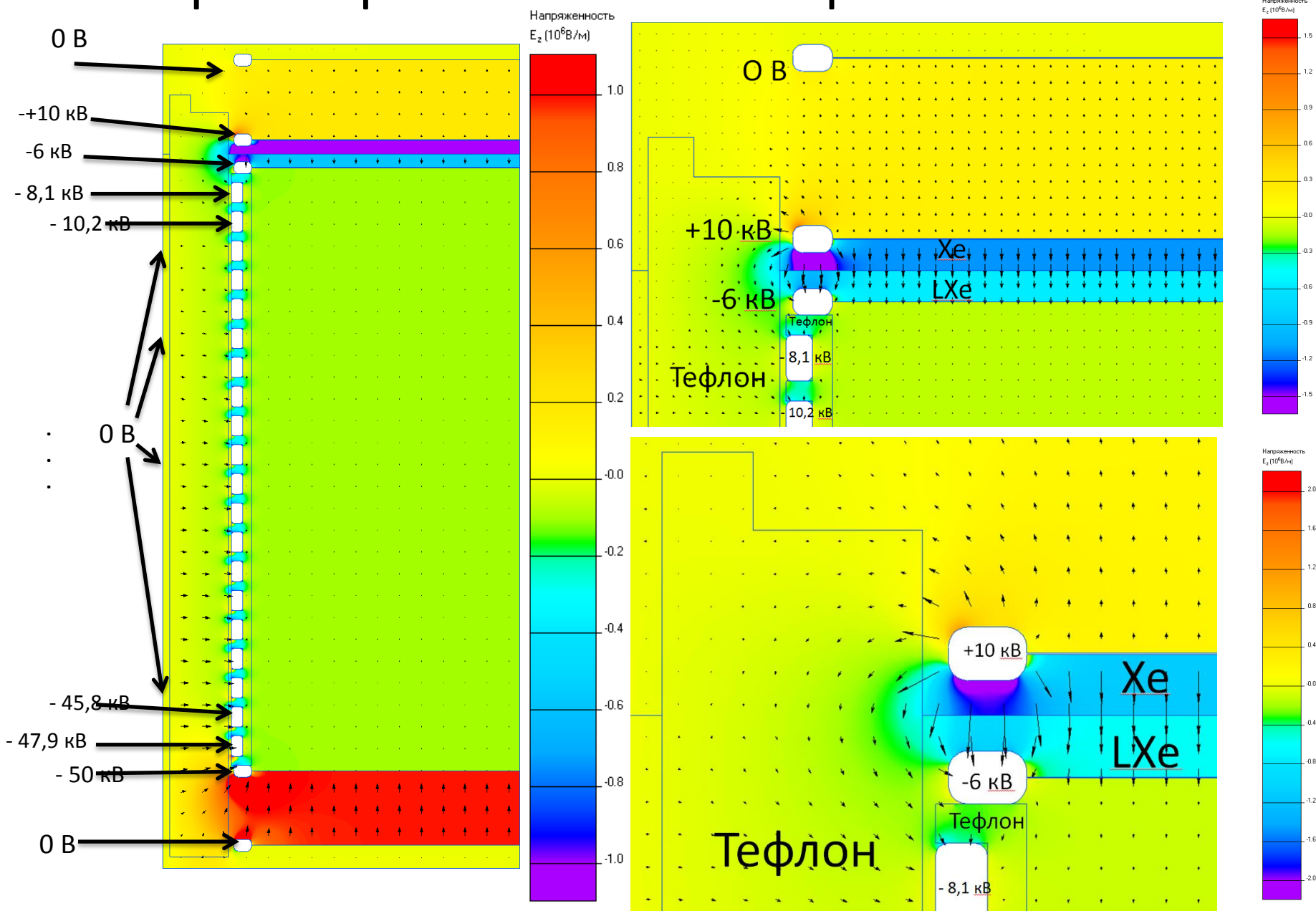


Распределение  
напряженности  
электрического поля  
в детекторе.  
Диапазон  
-1000 ... 1000 кВ/м





# Вектора напряжённости электрического поля



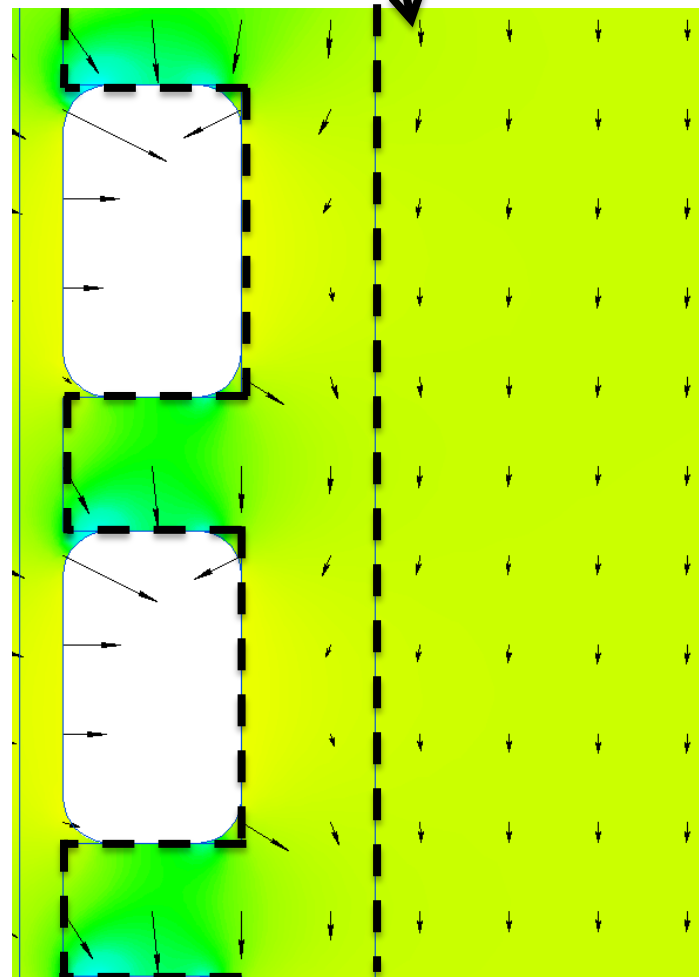
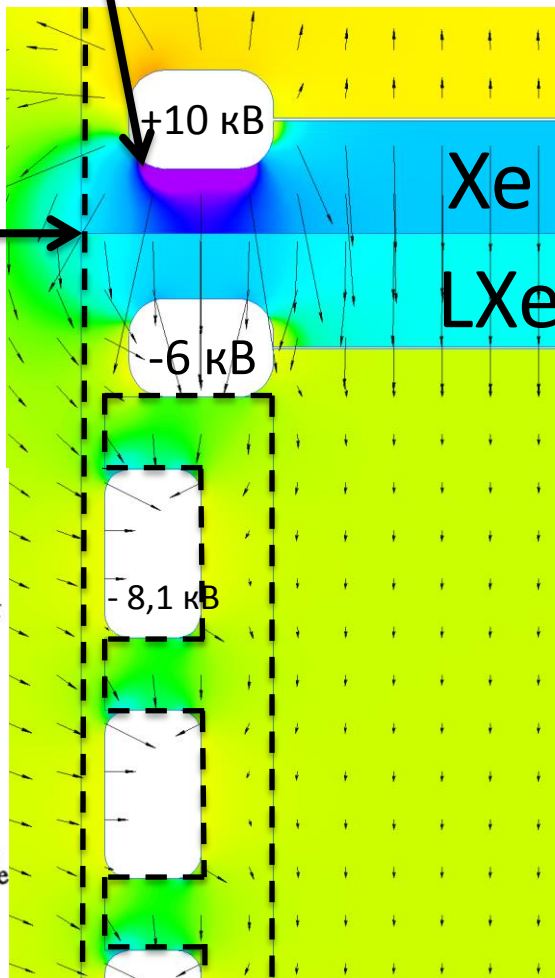
# Выявленные проблемы

1 – Место потенциального пробоя

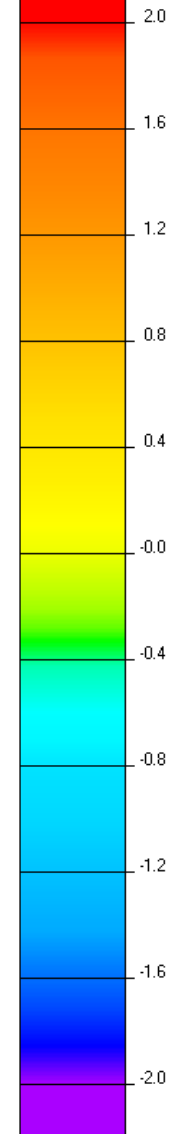
2 - Области (на краях) где электрическое поле неоднородно

---  
Граница  
тефлона

Граница  
жидкого и  
газообразного  
ксенона.

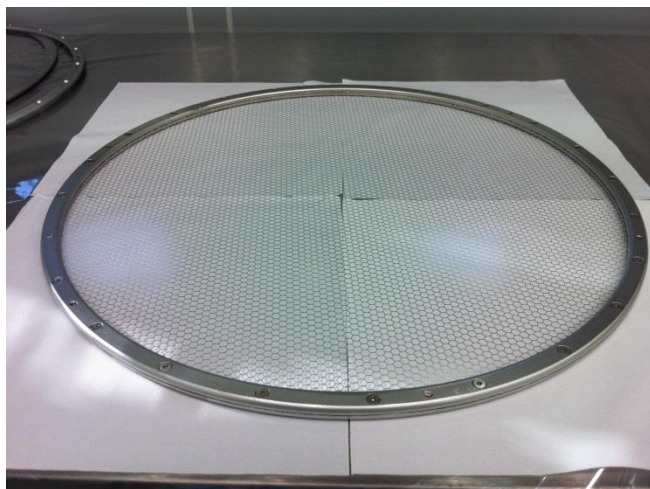


Напряженность  
 $E_z$  ( $10^6$ В/м)

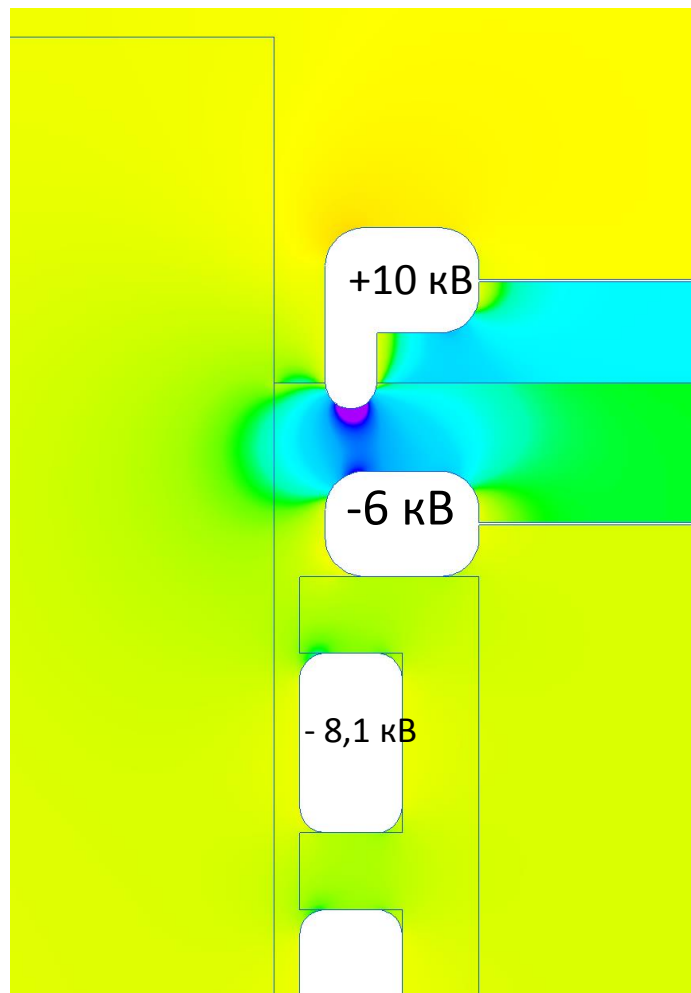


Тефлон является отражателем ультрафиолетового излучения (175 нм)

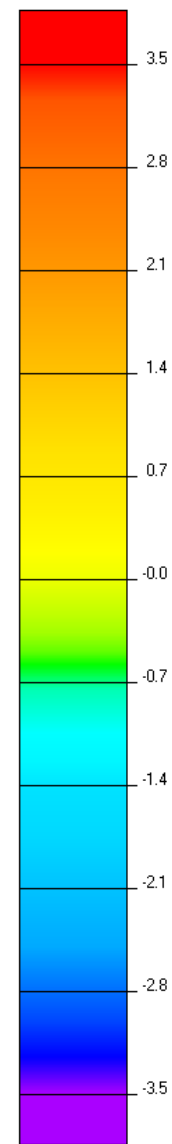
# Необходимое изменение конструкции (обода) сетки +10 кВ



+10 кВ



Напряженность  
 $E_z$  ( $10^6$ В/м)

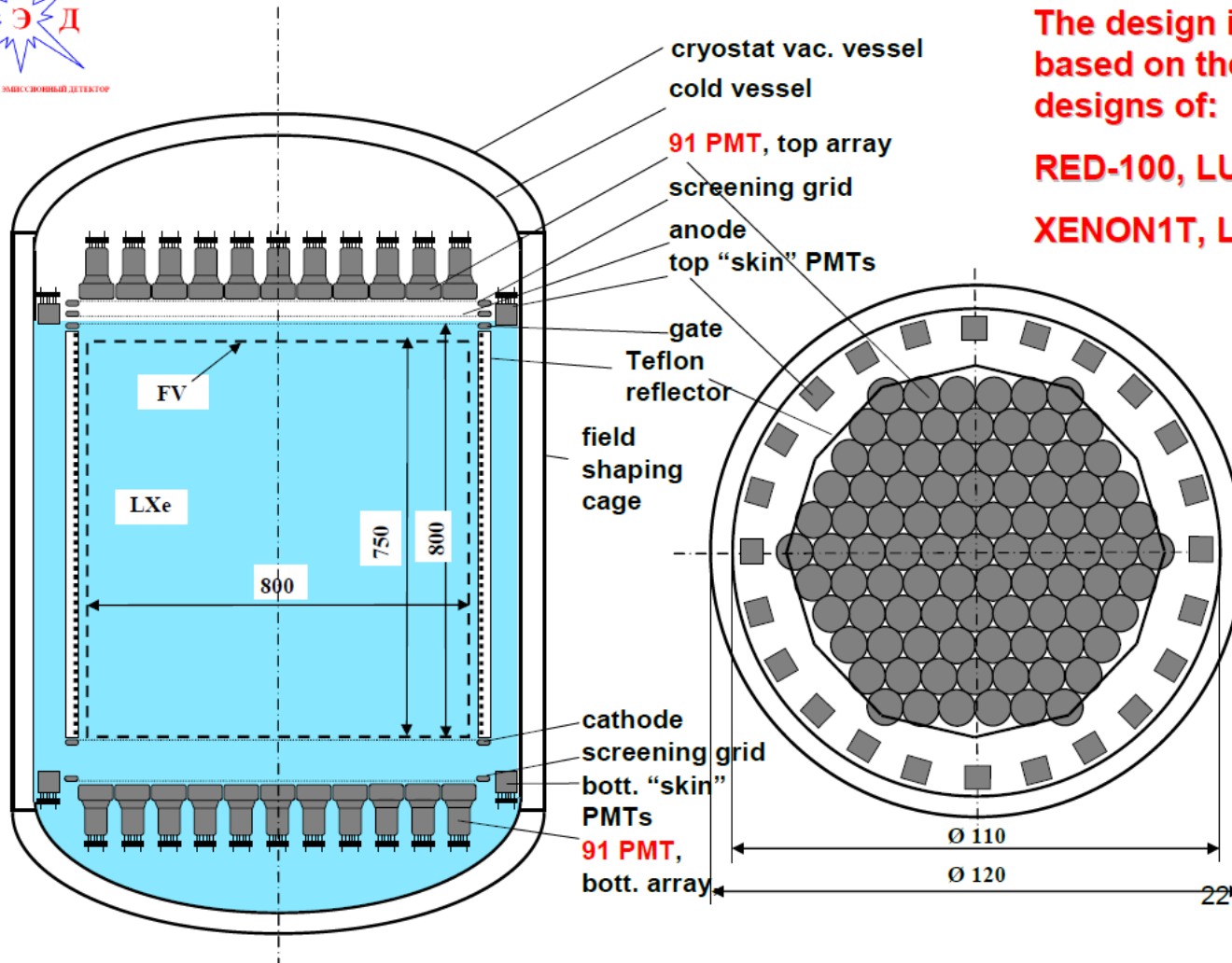


# Будущие планы



РОССИЙСКИЙ КСЕНОНОВЫЙ ДЕТЕКТОР

## RED-1000 schematic design (~1000 kg of LXe in FV)



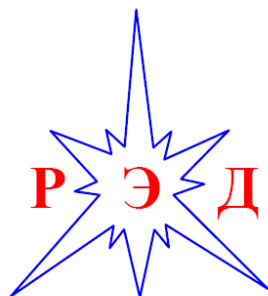
The design is based on the designs of:

RED-100, LUX

XENON1T, LZ

# Заключение

- С помощью моделирования электрических полей выявлены потенциальные проблемные места в детекторе;
- Обнаружены места неоднородности электрических полей;
- Смоделирована новая геометрия деталей;
- Начато проектирование нового детектора.



РОССИЙСКИЙ ЭМИССИОННЫЙ ДЕТЕКТОР



# Благодарю за внимание

<http://enpl.mephi.ru>

E-mail: [ant86.86@mail.ru](mailto:ant86.86@mail.ru)

# Дополнительные материалы

# Идея эмиссионных детекторов

Эффективная регистрация слабозаимодействующих частиц и проникающих излучений возможна только с помощью детекторов с массивной и плотной рабочей средой. Поскольку энергия, оставленная в рабочей среде детектора в этих условиях очень мала, необходимы специальные меры, чтобы усиливать слабые сигналы. Разработано несколько подходов для регистрации малых энерговыделений в массивных детекторах. В данной презентации речь будет идти о классе детекторов, использующих возможность вытягивать электроны ионизации из неполярных диэлектриков и усиливать ионизационный сигнал методами, разработанными для газовых детекторов.

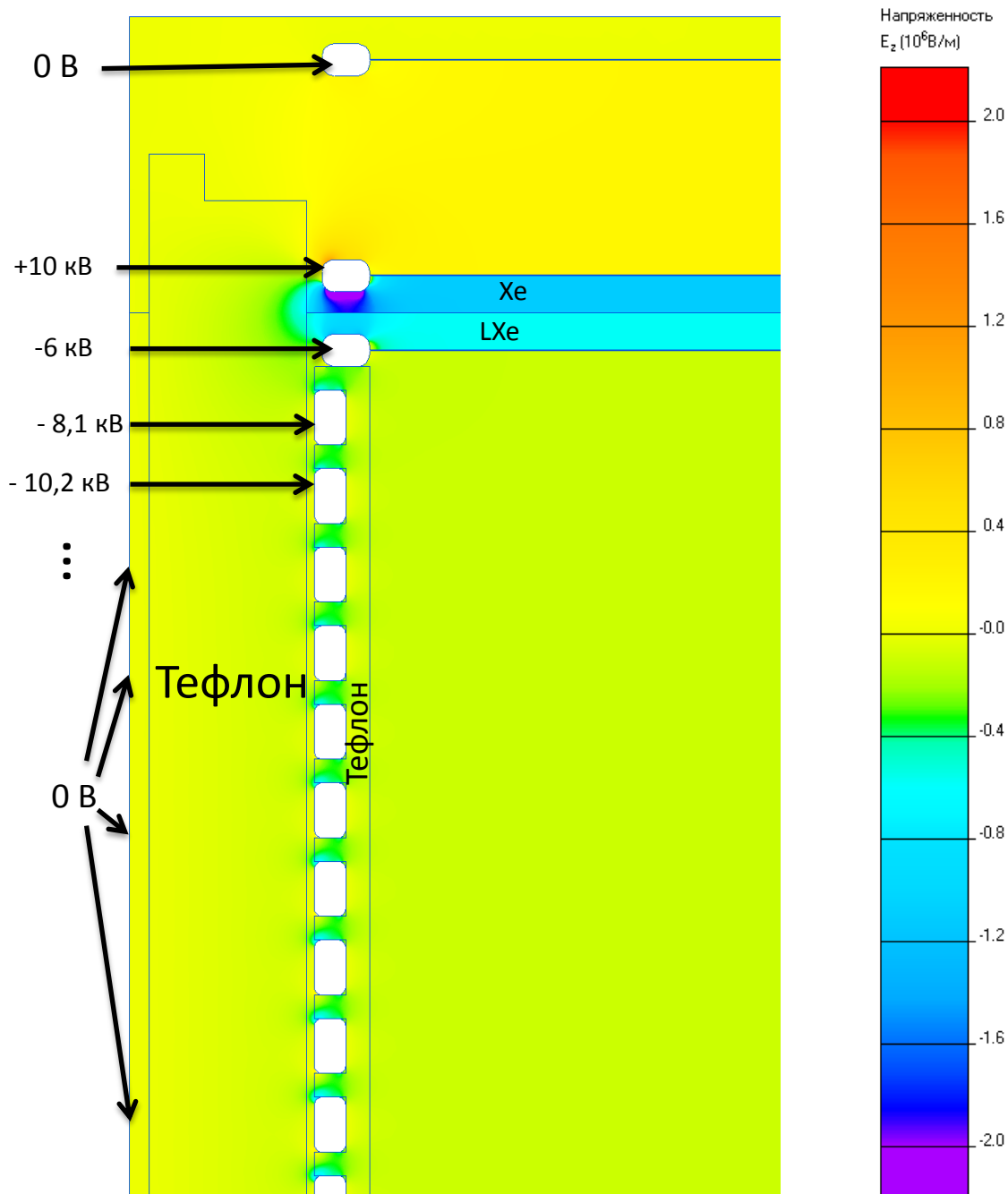
Чистые благородные газы как рабочая среда детекторов уникальны тем, что сочетают в себе хорошие сцинтилляционные и ионизационные свойства.

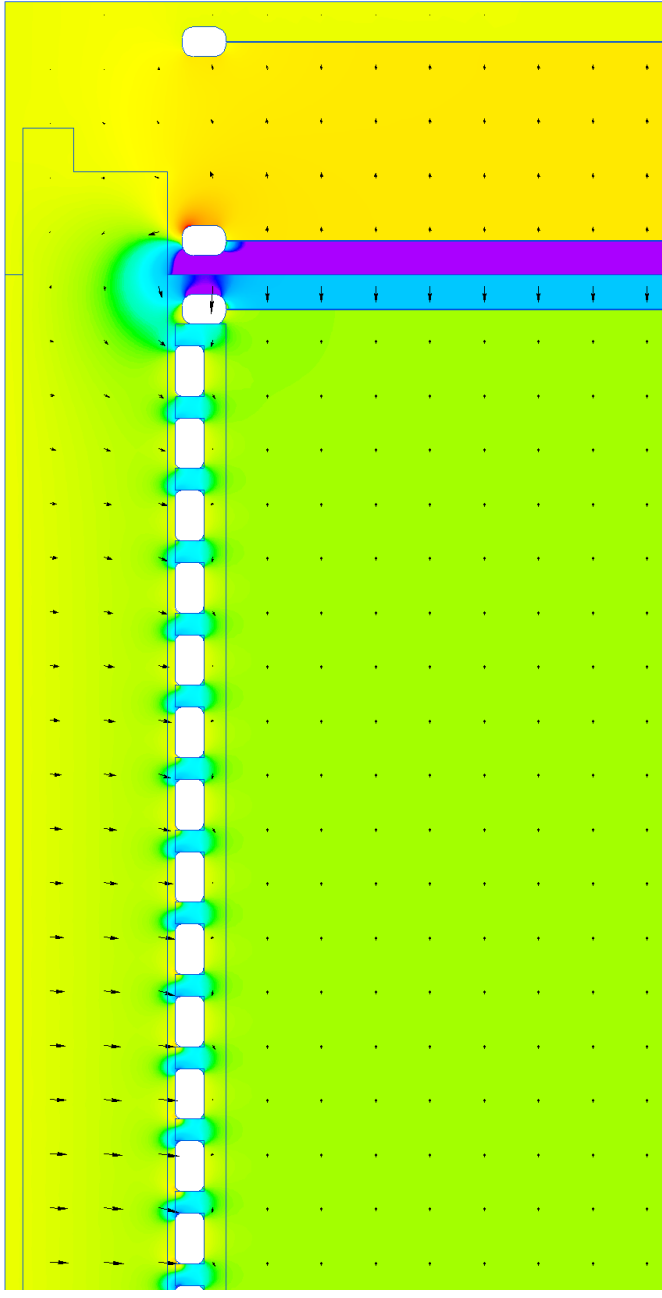
Детектор РЭД-100 планируется использовать для исследования процесса упругого когерентного рассеяния нейтрино (УКРН) на тяжёлых ядрах ксенона. УКРН на атомном ядре, происходящее по каналу нейтральных токов, никогда не наблюдалось со времени своего теоретического предсказания в 1974 году. Единственным наблюдаемым эффектом УКРН является появление ядер отдачи с низкой кинетической энергией. Технические трудности при разработке массивных детекторов с низким энергетическим порогом и с низким уровнем фонов сдерживают экспериментальное наблюдение эффекта в течение пяти десятилетий. Тем не менее, недавние достижения в технологии детекторов для темной материи порождают надежду, что УКРН окажется доступным для исследования в ближайшем будущем. Успешные измерения когерентного рассеяния нейтрино будут немедленно востребованы в экспериментах следующего поколения по прямой регистрации темной материи, для которых УКРН от солнечных и атмосферных нейтрино будет создавать заметный фон.

# Детектор РЭД-100 планируется использовать для исследования процесса

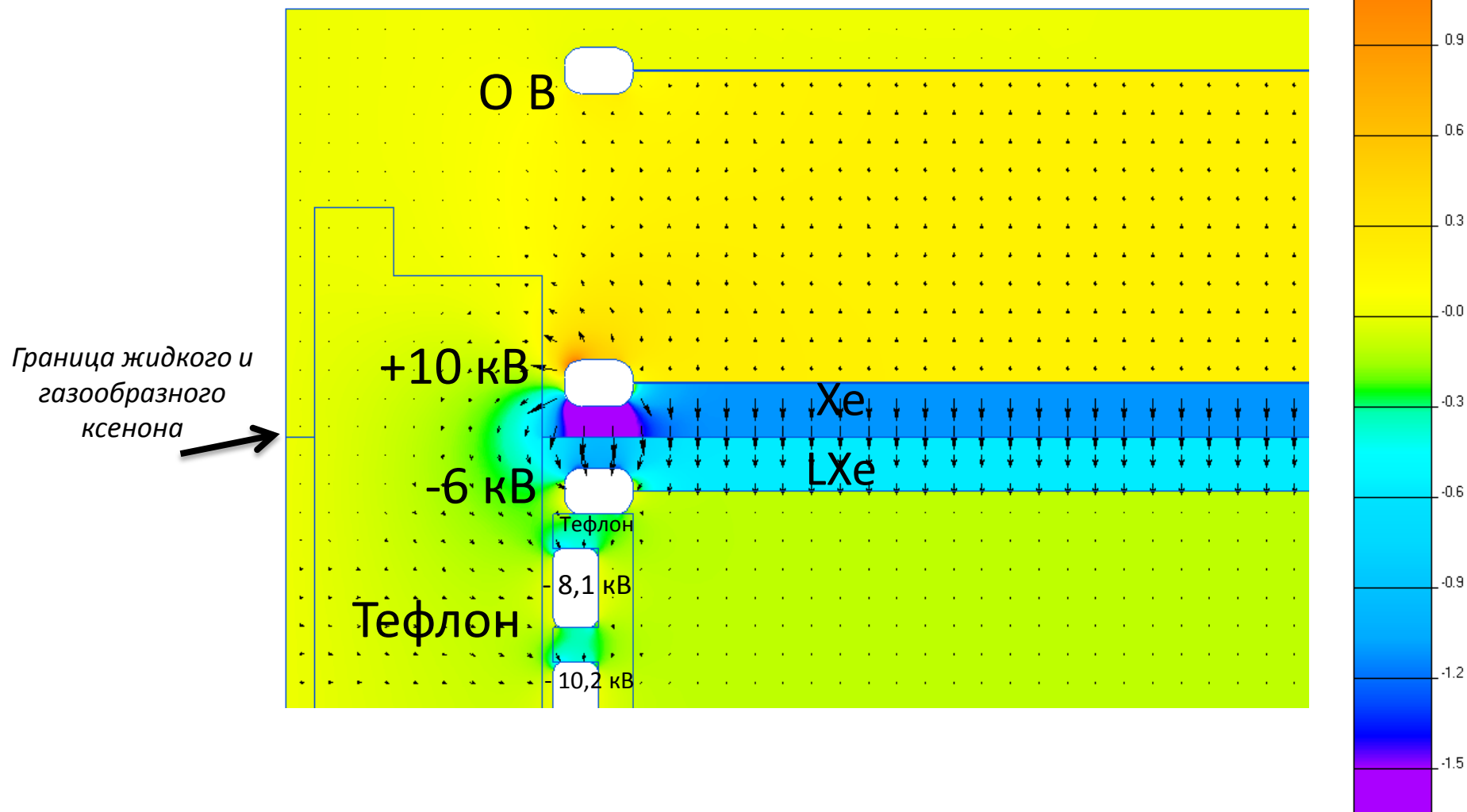
- для исследования неупругих взаимодействий нейтрино с тяжелыми ядрами;
- для наблюдения  $(\nu_e e)$  - рассеяния с малыми энергосвечениями;
- для поиска позитронного безнейтринного бета-распада;
- упругого когерентного рассеяния нейтрино на тяжёлых ядрах;
- для контроля ядерных реакторов, являющихся интенсивными источниками нейтрино одного типа.

Распределение  
напряженности  
электрического  
поля в детекторе.  
Диапазон  
-2000 ... 2000 кВ/м

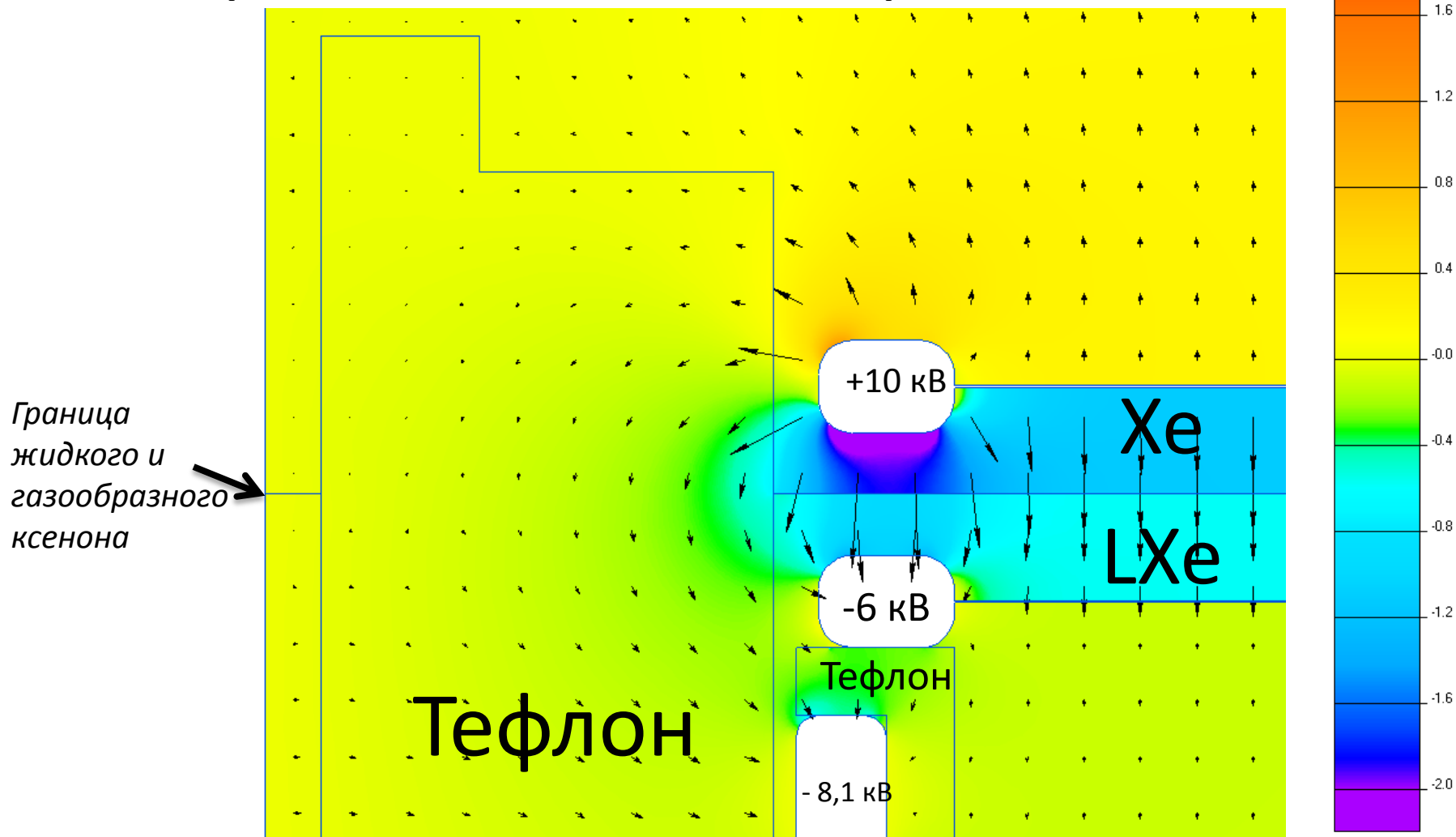




# Вектора напряжённости электрического поля в верхней части



# Вектора напряжённости электрического поля в верхней части



# Дальнейшие планы

- Постройка в 3Д реальной геометрии сеток и исследование поведения линий электрического поля в них.
- Возможная постройка 3Д модели всей электродной системы детектора

