

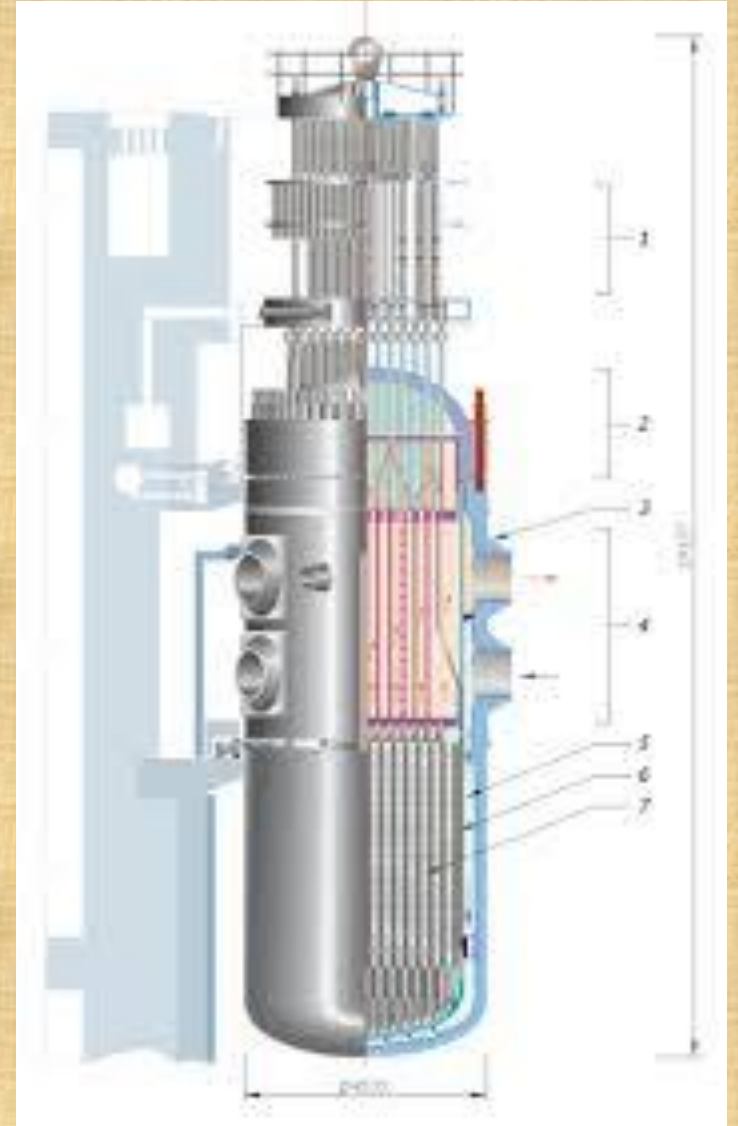
# Детекторы антинейтрино

Подготовили

# Мониторинг ядерного реактора

Для оптимального функционирования ядерного реактора очень желательно научиться напрямую **«видеть»** то, что происходит внутри активной зоны работающего реактора.

Физическая проблема тут заключается в том, что в ядерный реактор **просто так не заглянешь.**



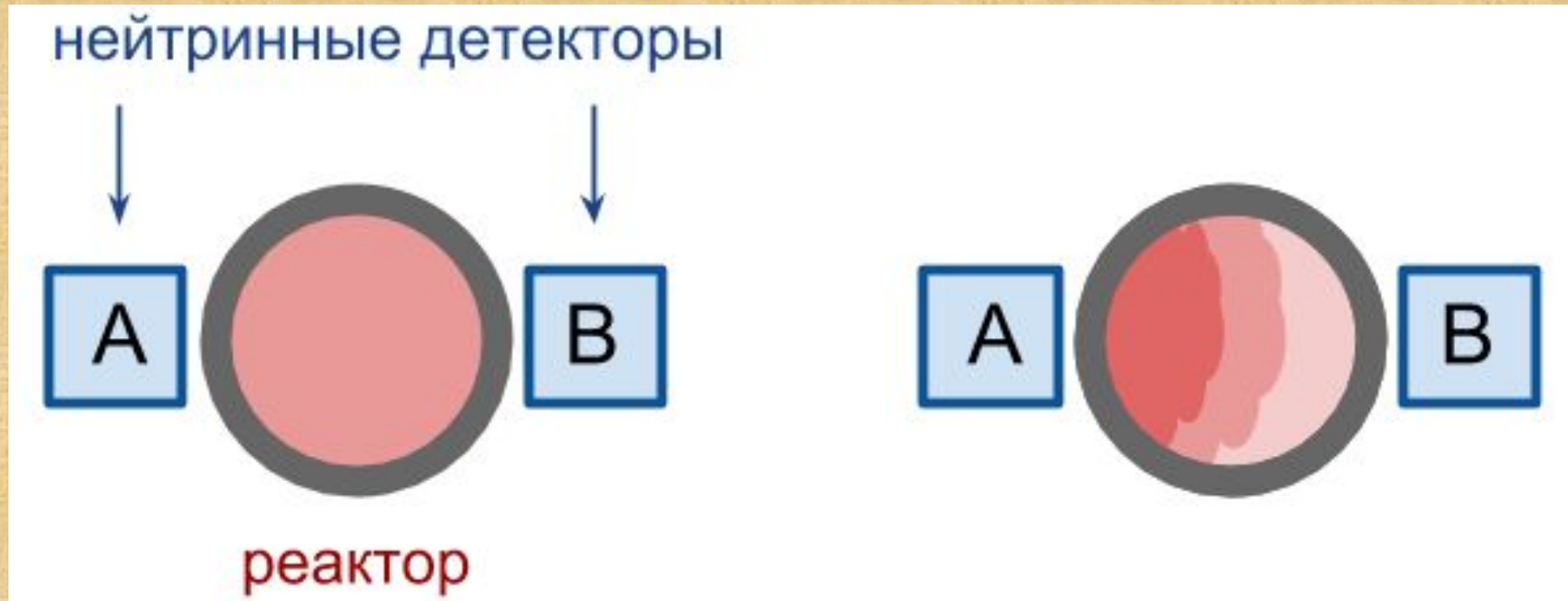
# *Нейтрино (антинейтрино)*

Естественным кандидатом для прямого дистанционного наблюдения за активной зоной являются нейтрино (а точнее антинейтрино). Эти частицы рождаются в ядерном реакторе и разлетаются прочь из активной зоны, стенки ядерного реактора не являются для них преградой.

Лишь в очень редком случае нейтрино натывается всё же на какой-то атом окружающего вещества и инициирует ядерную реакцию — именно так нейтрино и ловят в детекторах. Поэтому достаточно крупный детектор сможет не только надёжно зарегистрировать реакторные нейтрино, но и аккуратно измерить их поток.

# Томография активной зоны

Если несколько таких детекторов поставить с разных сторон реактора то, сравнивая их показания, можно будет провести томографию активной зоны реактора



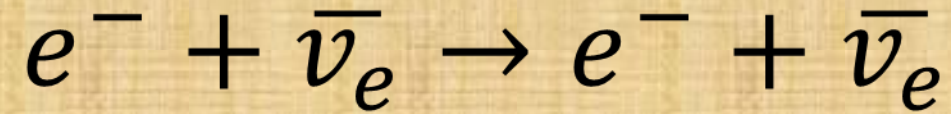


# Обнаружение антинейтрино

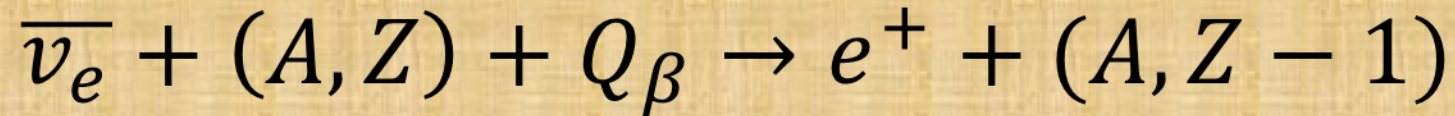
1. Обратный бета-распад



2. Антинейтрино-электронное рассеяние



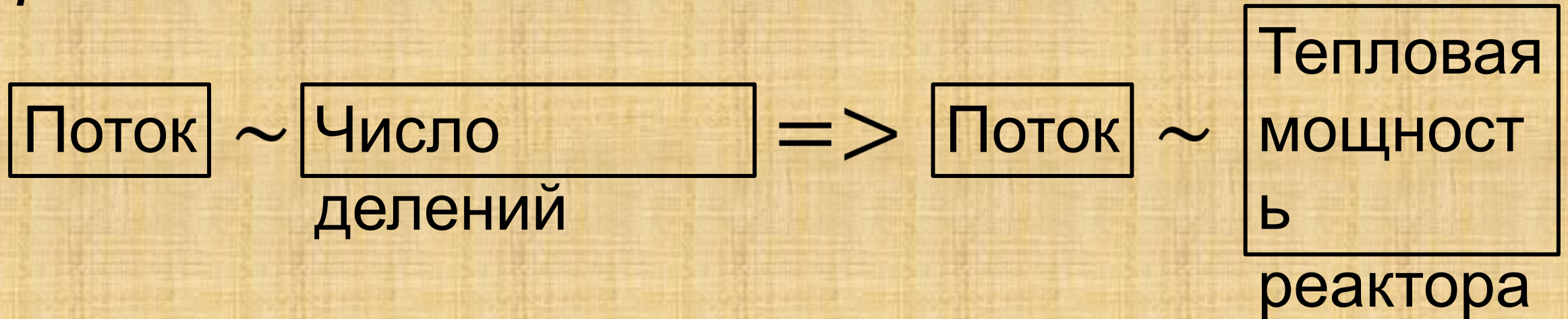
3. Антинейтрино-ядерное рассеяние



где  $Q$  энергетический порог для взаимодействия, и  $A$  и  $Z$  массовое число и протон число ядра мишени, соответственно.

# Особенности реакций

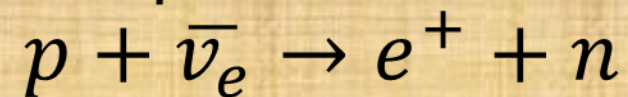
1.



2. Спектры испускаемые различными компонентами ядерного топлива отличаются друг от друга.

# Измерение спектра

Измерение спектра антинейтрино основано на реакции



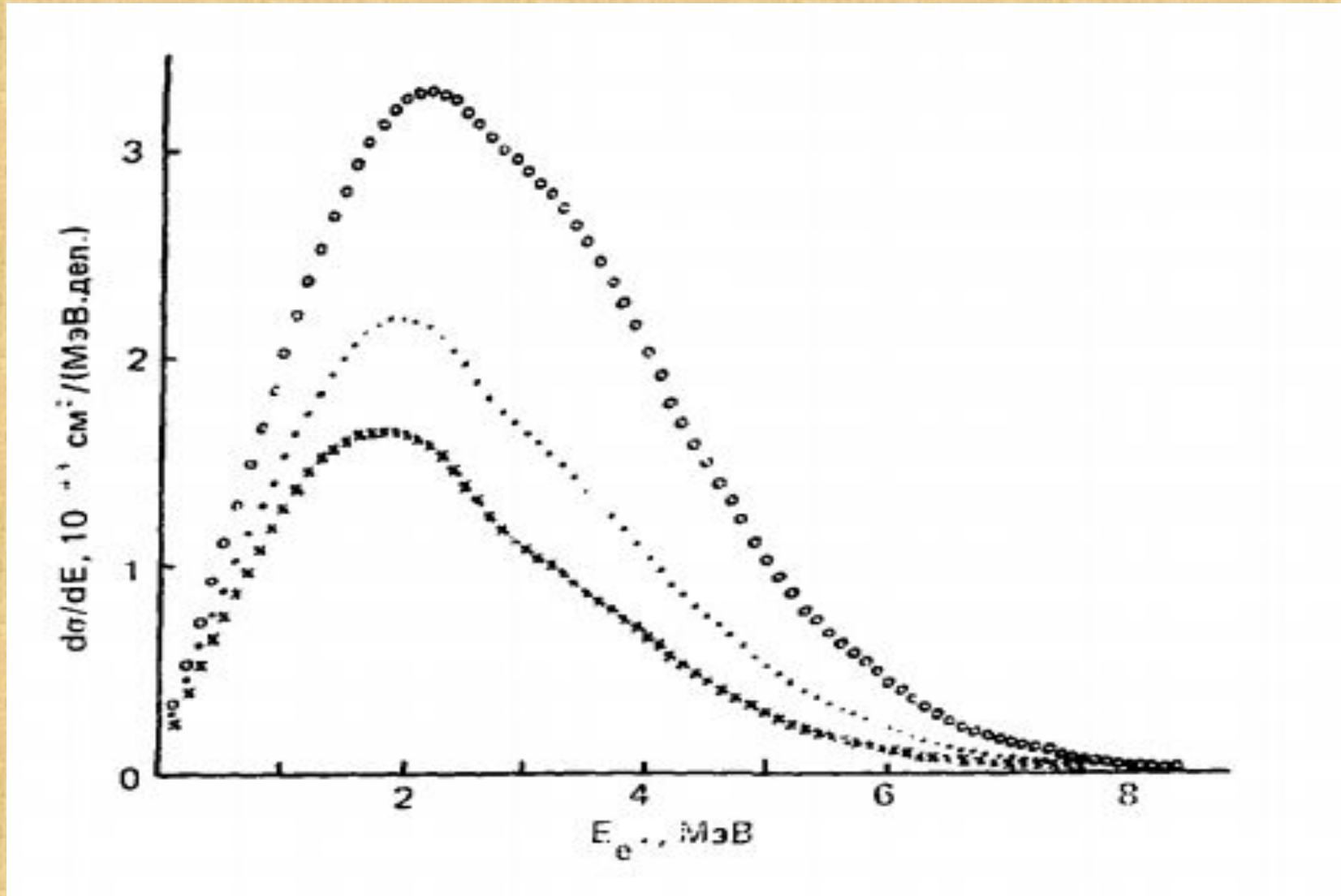
Измерение энергии позитронов, возникающих в этой реакции, позволяет определить энергии электронного антинейтрино

$E_{\bar{\nu}} = E_e + 1.29$  (МэВ) Сечение образования позитрона с энергией электрона с хорошей точностью даётся соотношением

$$\sigma = A p_e E_e,$$

где  $A$  – константа, а  $p_e$  – импульс позитрона.

# Дифференциальные энергетические спектры





# Свойства нейтрино

## Известные характеристики:

- Сделаны выводы о существовании конечной нейтринной массы.
- Определено большинство параметров нейтринных состояний.

## Неизвестные характеристики:

- Величина магнитного момента нейтрино (ММН).
- Является ли истинно нейтральной частицей (Майорановское нейтрино).
- Имеет ли нейтрино античастицу (Дираковский тип нейтрино).

## Современная теория (стандартная модель):

- ✓ нейтрино является дираковской частицей;
- ✓ магнитный момент очень мал (не превышает  $10^{-20} \mu_B$ ).

# **Определение магнитного момента**

Два конкурирующих процесса:

- Электромагнитный
- Слабый

*Оба этих процесса достаточно редки и необходимо изолировать измерительную аппаратуру от паразитного излучения*

# Определение нейтрино на КАЭС

## Характеристики детектора

### Используемая защита

Основа защиты - медь

Защита от гамма-излучения  
свинец

Фон – сцинтилляционные  
пластины

Защита от нейтронный потока  
– борированный полиэтилен

Детектор из  
высокочистого  
германия

Вес около  
одного  
килограмма

# ***GEMMA-2***

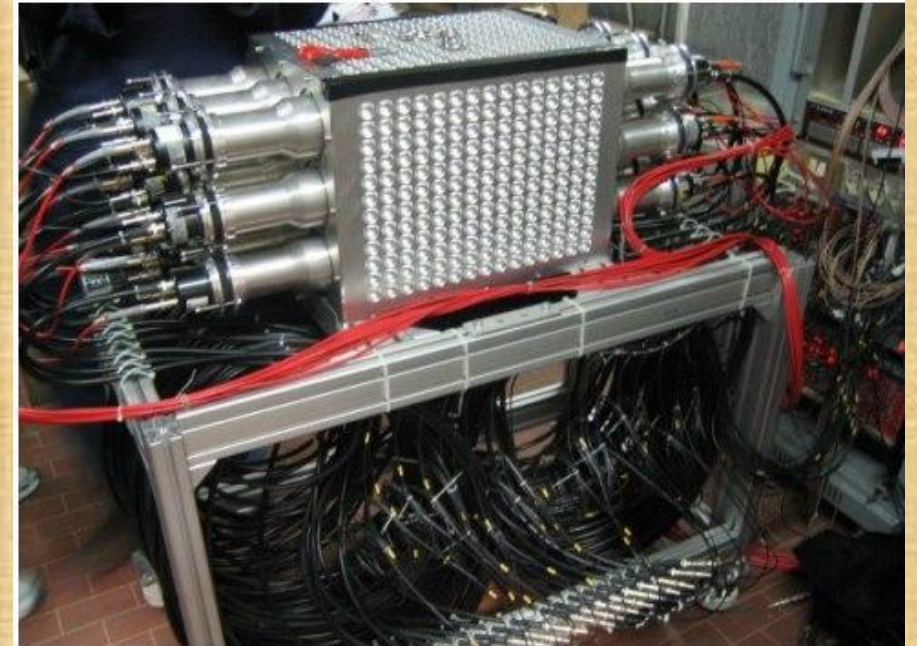
- Будет располагаться ближе к активной зоне реактора
- Используются два детектора.
- Главное отличие – подвижность детектора.

*Суммируя улучшения, можно надеяться получить ограничение на магнитный момент антинейтрино на уровне  $10^{-11} \mu_B$ .*

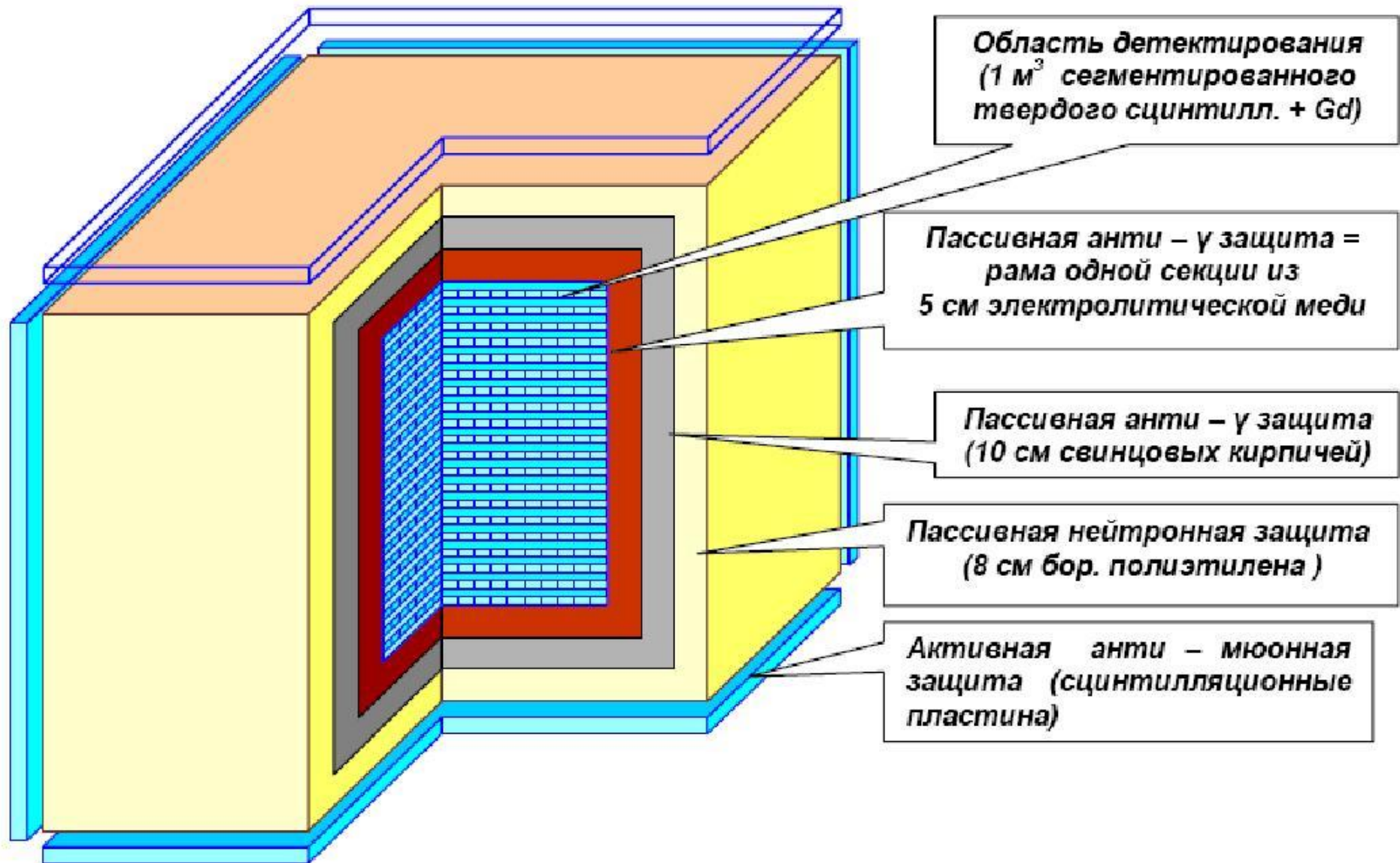


# DANSS

- Используемый метод – обратный бета-распад.
- Время между двумя событиями составляет 30-40мкс.
- Сигнатура захвата сигнала очень четкая.
- Эффективно отсекается сигнал от фона.
- Регистрация до 10000 нейтринных событий в сутки.



# DANSS





# ***Проблема нераспространения ядерного оружия***

Спектр испускаемых нейтрино сильно зависит от состава реакторного топлива. Его состав сильно меняется: уран выгорает, а плутоний образуется. Состав ядерного топлива можно определять по количеству антинейтрино и их энергии. Таким образом, международные органы контроля смогут обнаружить производство оружейного плутония. Детектор сможет работать длительный срок и предоставлять информацию в реальном времени о состоянии реактора.

# Применение детекторов



- ✓ Слежение за работой ядерного реактора, находящегося только вблизи установки.
- ✓ Остановка японской АЭС «Фукусима-1» после аварии дала возможность с помощью детекторов нейтрино проанализировать частицы, которые приходят из недр Земли.
- ✓ Изучение полного потока нейтрино от реактора.



# *Эксперименты с нейтрино*

- Самое перспективное направление физики частиц.
- Не требуют многомиллионных вложений.
- Решают заманчивые экспериментальные задачи.
- Бросают вызов опытным специалистам.
- Способствуют привлечению в науку молодых и амбициозных физиков.

***СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!***