

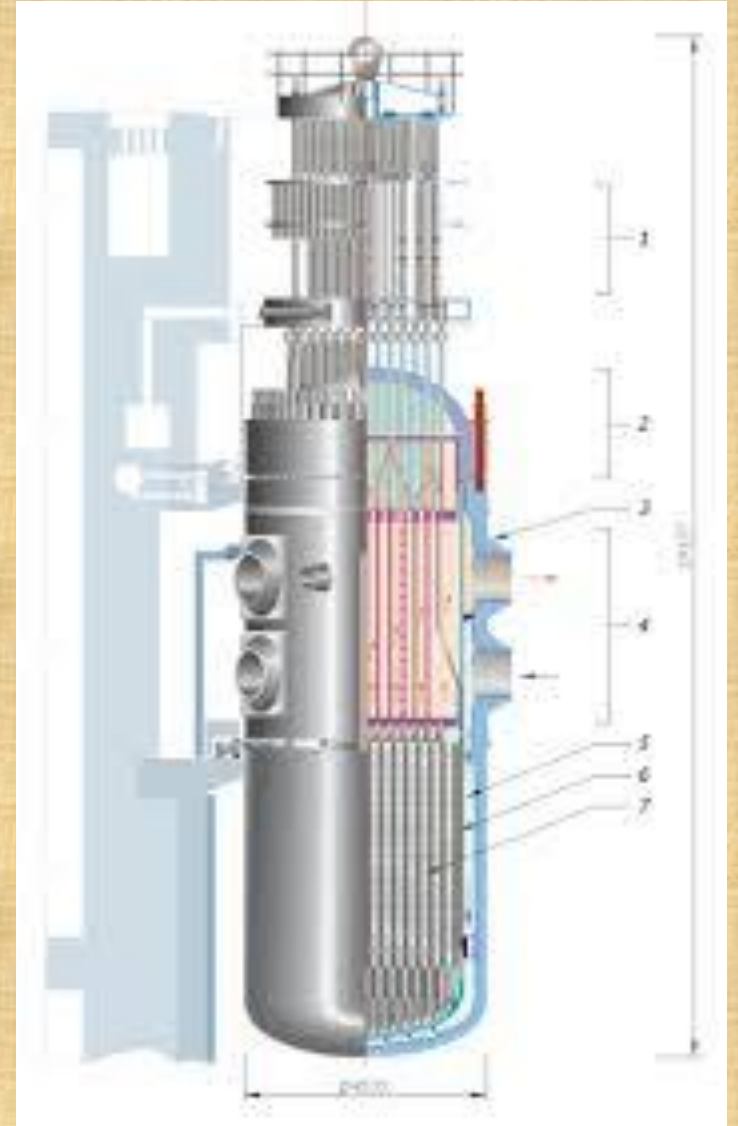
Детекторы антинейтрино

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.**



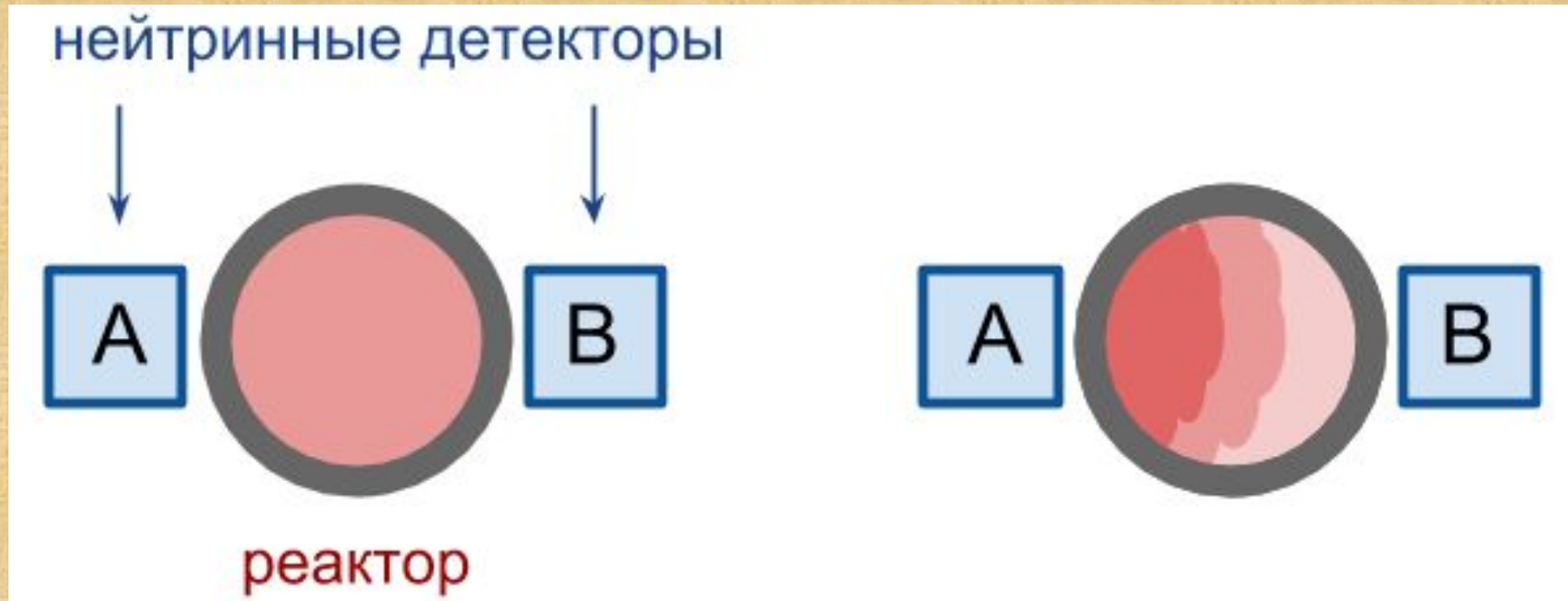
Нейтрино (антинейтрино)

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

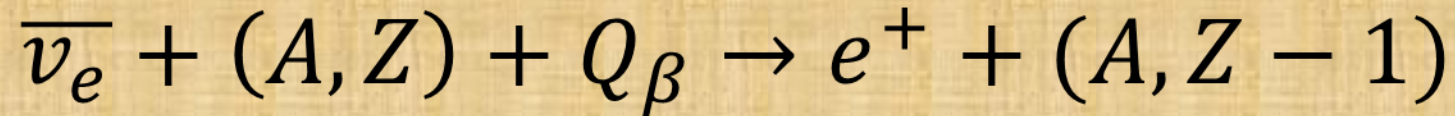
1. Обратный бета-распад



2. Антинейтрино-электронное рассеяние



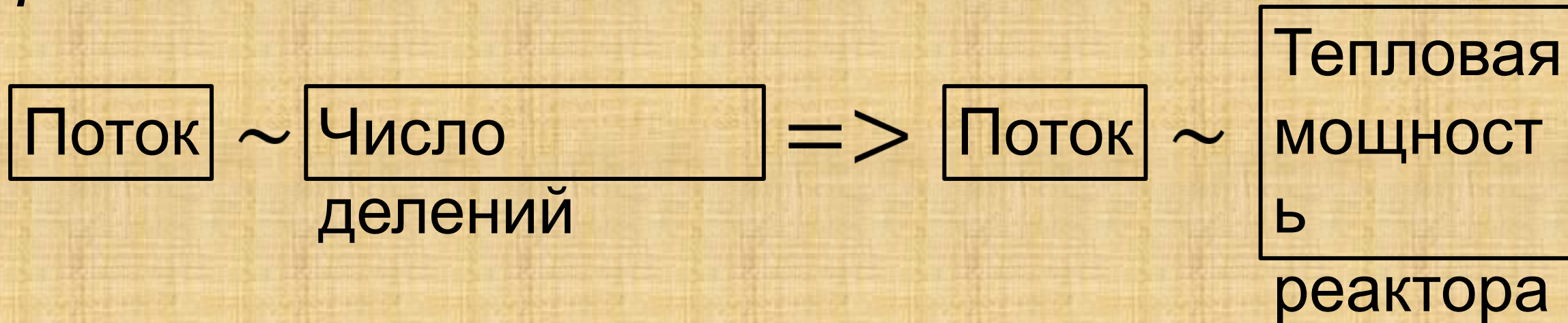
3. Антинейтрино-ядерное рассеяние



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

Особенности реакций

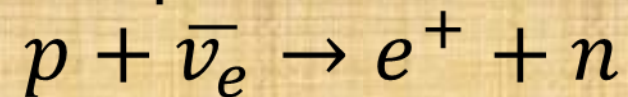
1.



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

Измерение спектра

Измерение спектра антинейтрино основано на реакции



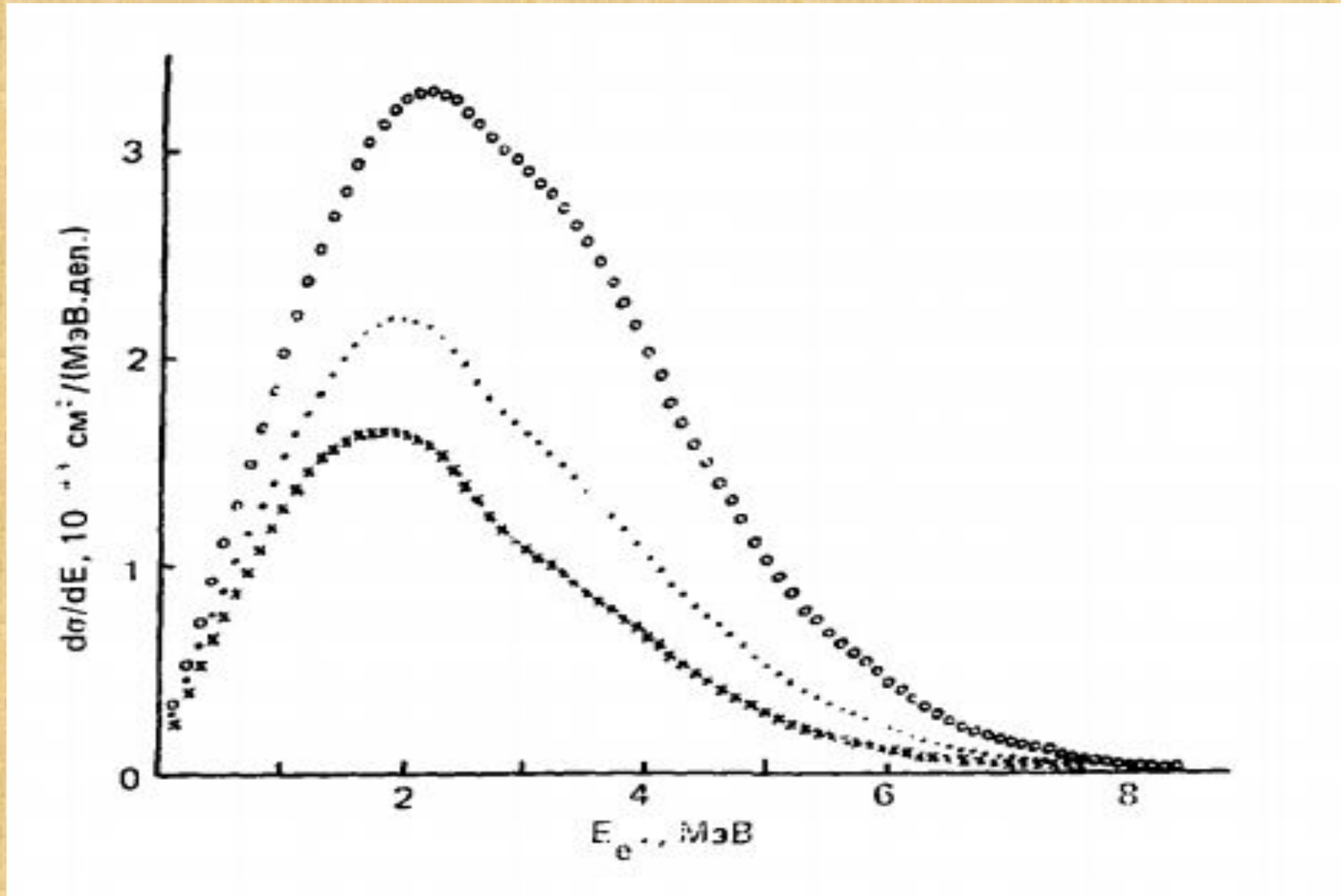
Измерение энергии позитронов, возникающих в этой реакции, позволяет определить энергии электронного антинейтрино

$E_{\bar{\nu}} = E_e + 1.29$ (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

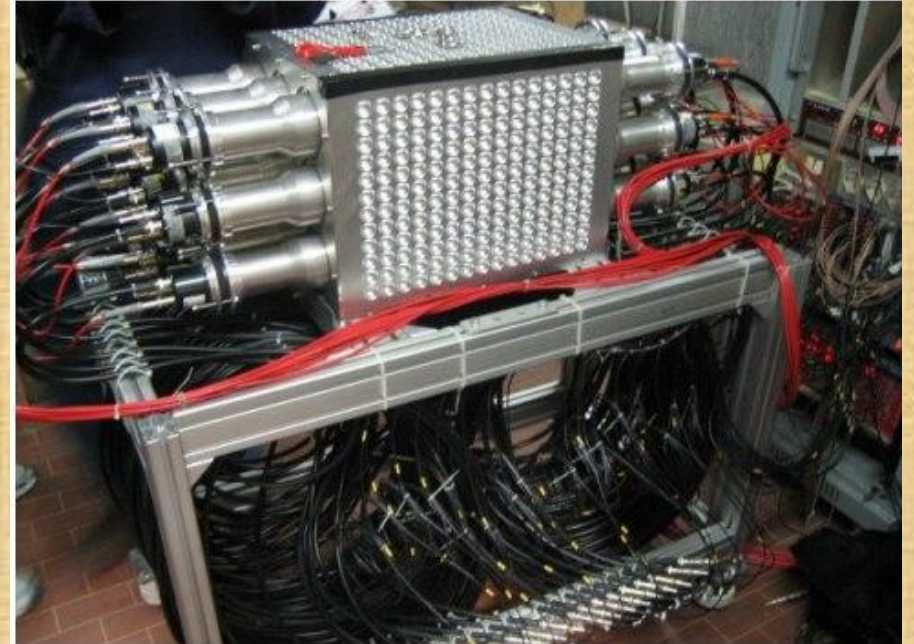
GEMMA-2

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

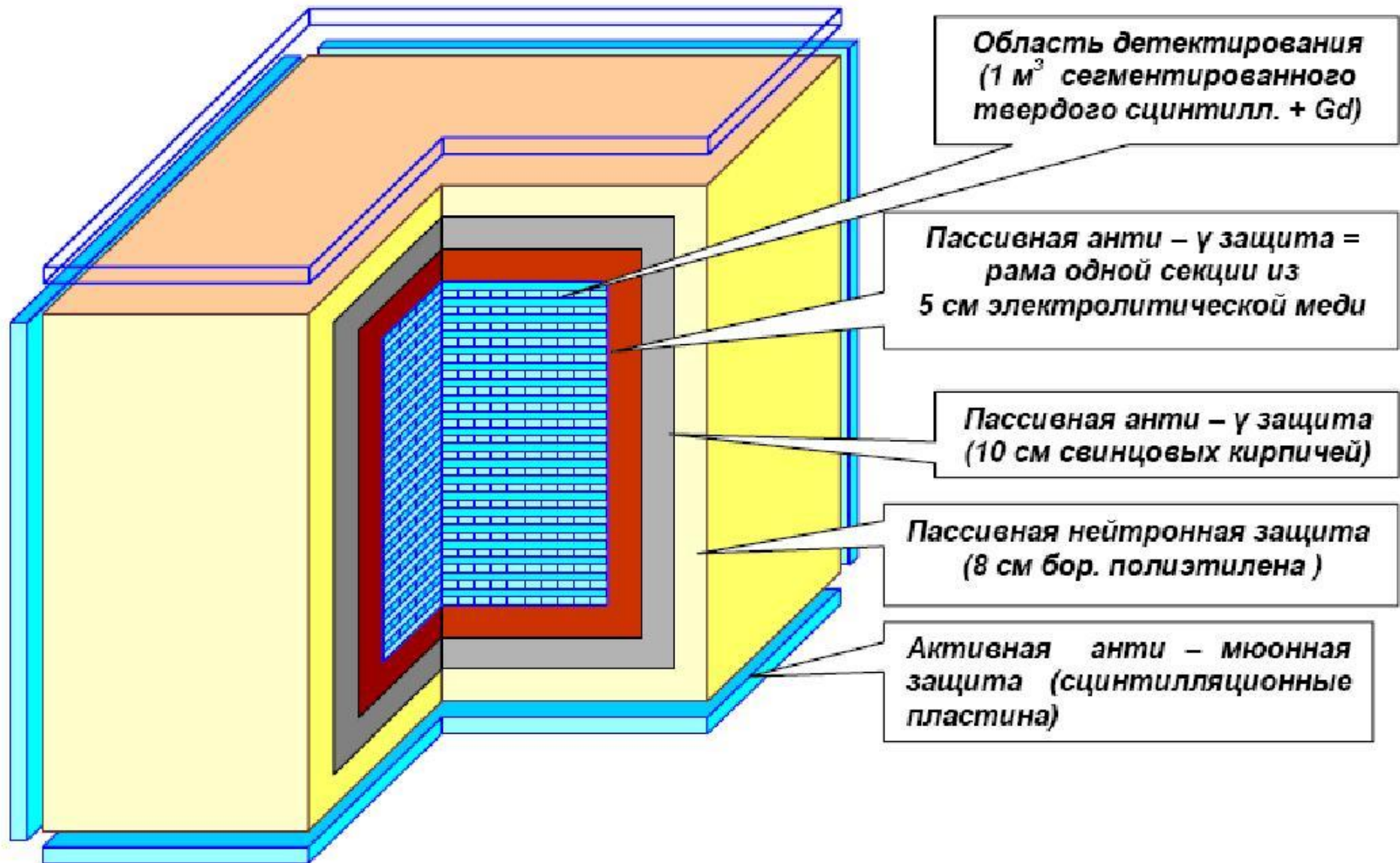
Суммируя улучшения, можно надеяться получить ограничение на магнитный момент антинейтрино на уровне $10^{-11} \mu_B$.

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!