

Моделирование прототипа детектора RED, установленного на реакторе в МИФИ v 0.9

Кобякин А.С.

12 февраля 2012 г.

1 Описание программы

Для изучения прототипа детектора RED, установленного на реакторе в МИФИ, была создана программа моделирования RED. Для ее компиляции и работы требуются GEANT 4 (при работе использовалась версия 4.9.4.p02 с данными по нейтронным сечениям G4NDL 3.14) и ROOT (использовалась версия 5.30).

1.1 Конфигурационные параметры файла RED.conf

Поведение программы контролируется файлом RED.conf, изменение параметров которого не требует пересборки программы. В файле настроек задаются следующие параметры (пометка *[0/1]* означает, что параметр может принимать в качестве значений только 0 или 1):

- source — задает номер источника первичных частиц из представленного в файле списка
- events — задает количество моделируемых первичных частиц
- continue *[0/1]* — определяет, продолжаем ли мы счет с момента предыдущего запуска, и считывает сохраненный файл инициализации генератора случайных чисел
- energy — задает значение энергии для тех источников, энергия которых может меняться (например, тестовый источник №1 - нейтрон, испущенный из центра жидкого ксенона в произвольном направлении)
- electroluminescence *[0/1]* — включает и выключает электролюминесценцию
- optsuppression — уменьшает количество реально просчитываемых фотонов в событии в указанное число раз (принимает только целочисленное значение)
- optelmlimit — ограничивает число оптических фотонов, возникающих при электролюминесценции (для полного моделирования без ограничений требуется не менее 24 Гб оперативной памяти)

- shielding [0/1] — включает и выключает моделирование защиты вокруг детектора
- tracking — управляет уровнем детальности вывода информации при расчете траектории частицы (только для отладочных целей)
- visual [0/1] — включает и выключает визуализацию детектора и частиц
- interface — выбирает программный интерфейс для визуализации
- session [0/1] — включает режим ручного управления моделированием в режиме терминала

1.2 Параметры модели генерации сигнала

В модель генерации сигнала в детекторе заложены следующие параметры (также приведены их местонахождения и установленные значения):

- Файл DetectorConstruction.cc:
 - Толщина рабочего объема жидкого ксенона: 22 мм
 - Толщина рабочего объема газообразного ксенона: 5 мм
- Файл SteppingAction.cc:
 - PMTQEff = 0.15 — квантовая эффективность ФЭУ
- Файл SteppingAction.cc:
 - field_liq = 4.*kilovolt/cm — поле в жидкости
 - field_gas = 6.*kilovolt/cm — поле в газе
 - gasPcold = 2.5*bar — давление в газе
 - extractionScale = 0.8 — коэффициент извлечения электронов в газовую фазу
 - liqDriftSpeed = 2.0*mm/microsecond — скорость дрейфа в жидкости
 - WnValue = 50.*eV — количество энергии, расходуемое на один электрон ионизации, при их рождении ядрами отдачи с энергией < 1 keV
 - Число электронов ионизации, рожденных ядрами отдачи с энергией > 1 keV: $14.9 * \text{Energy}[\text{keV}]^{0.61}$
 - WeValue = 15.6*eV — количество энергии, расходуемое на один электрон ионизации, при их рождении электронами (реальное число меньше в 2.531 раза с учетом рекомбинации)
- Файл Z3Scintillation.cc:
 - field = 4.0*kilovolt/cm — поле в газе

- liqElectronYield = 18. — количество оптических фотонов от заряженных лептонов и гамма-квантов на 1 кэВ в жидкости (для газа этот параметр берется для всех частиц)
- liqNuclearYield = 0.76 — количество оптических фотонов от нуклонов и ионов на 1 кэВ в жидкости.

Внимание! Изменение любого из описанных параметров требует перекомпиляции программы.

1.3 Формат вывода результатов моделирования

Результаты работы программы выводятся в виде ROOT'овского файла RED.root с несколькими деревьями внутри:

- REDEvent — содержит общие данные о событии
 - EventID — номер события
 - ParticleEnergy — энергия первичной частицы
 - EnergyLoss — суммарное энерговыделение во всех материалах (deprecated)
 - X, Y, Z — координаты точки рождения первичной частицы
 - DirX, DirY, DirZ — начальное направление импульса первичной частицы
 - FluxFlag — флаг попадания первичной частицы в выделенную горизонтальную площадку для расчета потока (рассчитывается без учета изменения направления движения из-за взаимодействия внутри детектора)
 - ParticleName — имя первичной частицы
- REDParticle — содержит общие данные о каждой родившейся частице. кроме оптических фотонов
 - Name — имя частицы
 - EventID — номер события
 - ID — идентификатор частицы внутри события
 - ParentID — идентификатор родительской частицы внутри события
 - ParticleEnergy — начальная энергия частицы
 - X, Y, Z — координаты точки рождения частицы
 - Material — материал, в котором родилась частица
- REDSignal — содержит все данные о сигнале с ФЭУ
 - EventID — номер события
 - StartTime — время от начала события до начала данных в массиве сигналов

- TimeShift — сдвиг положения первых ненулевых данных в массиве сигналов в нс
- TimeStep — единица времени в массиве сигналов в нс
- Signal[7][12500] — массив сигналов с ФЭУ (количество фотоэлектронов в единицу времени)
- ELMPhotonsCutFlag — признак того, что число оптических фотонов в данном событии было искусственно ограничено параметром optelmlimit.

1.4 Доступные источники первичных частиц

Для моделирования доступны следующие источники первичных частиц (выбор контролируется параметром source в файле RED.conf):

- 1 — одиночный нейтрон из центра рабочего объема ксенона с задаваемой параметром energy энергией, вылетающий в произвольном направлении
- 2 — Фон гамма-квантов (по данным эксперимента «Девиз» на поверхности)
- 3 — Мюонный фон на поверхности
- 4 — Обрезанный мюонный фон (для служебных целей)
- 5 — Нейтронный фон (по данным эксперимента «Девиз» на поверхности)
- 6 — Плоский нейтронный фон (для служебных целей)
- 7-16 — Фон от ФЭУ
- 17 — Нейтронный пучок с энергией 24 кэВ в центр камеры (нулевого радиуса)
- 18 — Нейтронный пучок с энергией 24 кэВ в центр камеры (Радиус 5 см)
- 19 — Нейтронный пучок из фильтра на 24 кэВ
- 20 — Нейтронный пучок из фильтра О. Грицай на 133 кэВ
- 21 — Нейтронный пучок из нихромового фильтра на 133 кэВ

2 Предварительные результаты моделирования

Проводилось моделирование количества сигналов в детекторе при описанных дефолтных параметрах модели от трех различных источников фона:

- Только тепловые нейтроны с энергией 0.025 эВ
- Фон нейтронов на поверхности земли (по данным эксперимента ДЕВИЗ в ИТ-ЭФ)
- Космические мюоны на поверхности земли

Моделирование проходило в трех вариантах, во всех случаях считалось число событий, в которых был хоть какой-то сигнал в ФЭУ:

- Вообще без защиты
- С полной защитой из свинца, кадмия и борированного полиэтилена
- С полной защитой и дополнительной защитой в виде метровой трубы вокруг пучка нейтронов

Результаты расчетов приведены в таблице (в ячейках приведено количество зарегистрированных и испущенных первичных частиц):

Таблица 1: Моделирование сигнала в детекторе при различных источниках фона.

Защита детектора	Тепловые нейтроны	Наземный нейтронный спектр	Космические мюоны
Без защиты	84 из 10^6	56 из 10^6	22 из $2.5 \cdot 10^4$
Полная защита	2 из 10^7	29 из 10^7	30 из $2.5 \cdot 10^4$
Полная защита и труба	1 из 10^7	24 из 10^7	25 из $2.5 \cdot 10^4$