

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГАММА-ТЕЛЕСКОПА "ГАММА-400" В СРЕДЕ "GEANT4" С УЧЕТОМ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В РЕАЛЬНЫХ ЧЕРТЕЖАХ

Перфильев А.А., Часовиков Е.В., Архангельская И.В., Архангельский А.И., Хижняк Е.В.
 Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ», Москва, Россия

Комплекс научной аппаратуры «ГАММА-400» разрабатывается для получения данных для определения природы «темной материи» в Метагалактике, изучения космического гамма-излучения в диапазоне высоких энергий, эволюции теории происхождения высокоэнергетических космических лучей и физики элементарных частиц, поиска и исследования гамма-всплесков.

Одним из этапов разработки гамма-телескопа является создание математической модели для расчета прохождения высокоэнергетических элементарных частиц через детекторы и элементы конструкции аппаратуры. Эта процедура необходима для отбора оптимальных размеров и материалов детекторов.

«ГАММА-400» состоит из 4424 отдельных инженерных конструкций [1], в связи с этим описание его геометрии в среде "GEANT4" представляется громоздкой и трудоемкой задачей. По этой причине была построена математическая модель, для которой был разработан пакет программ позволяющий конвертировать описание геометрии из систем автоматизированного проектирования в среду "GEANT4".

Импортирование 3D модели из файлов САПР с расширением "STL" в "GEANT4" [2] производилось с помощью проекта "CADMesh" [4], который был доработан, чтобы стало возможным импортирование всех элементов конструкции, так как разрешена по умолчанию загрузка только одного физического объема.

AC - детектор антисовпадений
 S1, S2 - сцинтилляционные детекторы (времяпролетная система)

CC1 - позиционно-чувствительный калориметр

CC2 - электромагнитный калориметр

S3, S4 - сцинтилляционные детекторы калориметра

LD - боковые детекторы калориметра

ND - нейтронный детектор

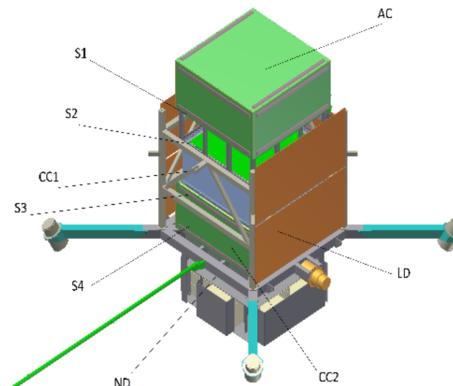


Рис 1. 3D модель "ГАММА-400" в САПР

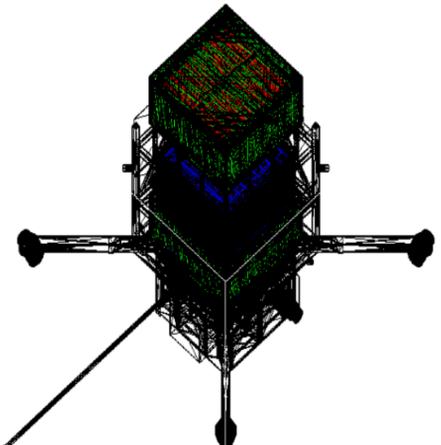


Рис 2. 3D модель "ГАММА-400" в среде "GEANT4"

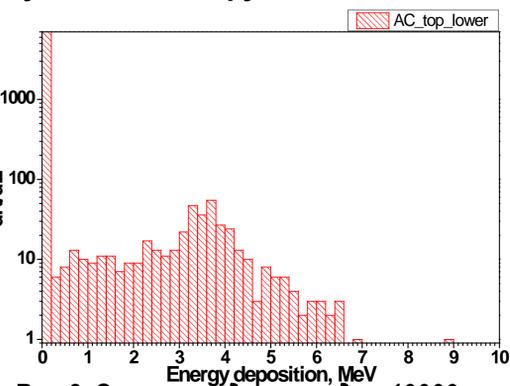


Рис 3. Энерговыделение для 10000 γ -квантов с $E=100$ ГэВ в интервале 0-4 нс

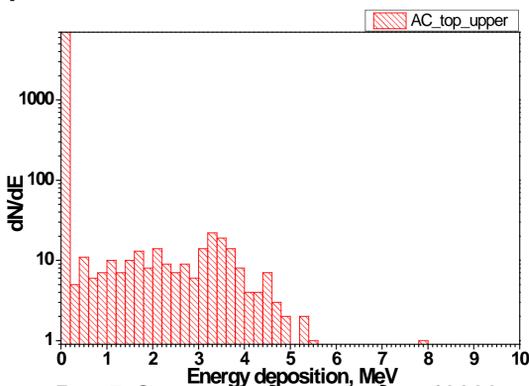


Рис 5. Энерговыделение для 10000 γ -квантов с $E=100$ ГэВ в интервале 0-4 нс

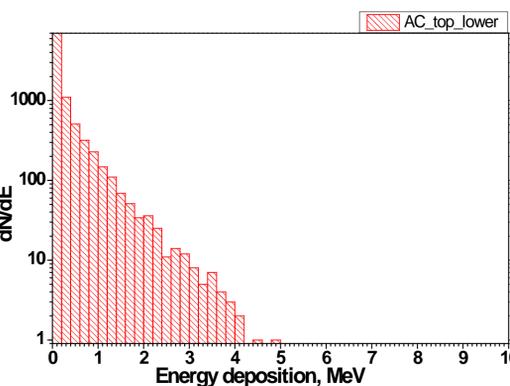


Рис 4. Энерговыделение для 10000 γ -квантов с $E=100$ ГэВ в интервале >4 нс

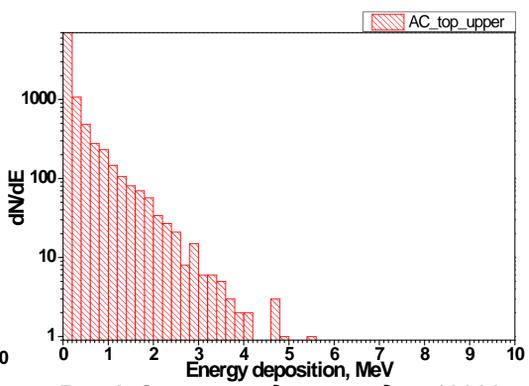


Рис 6. Энерговыделение для 10000 γ -квантов с $E=100$ ГэВ в интервале >4 нс

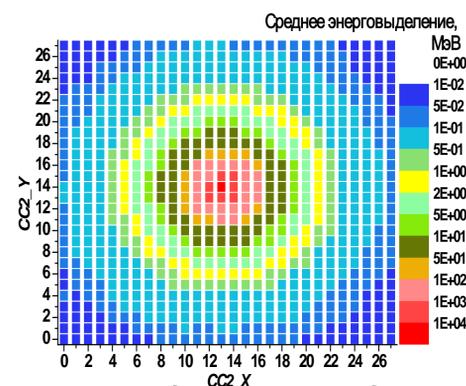


Рис 7. Среднее энерговыделение для 10000 e^- с $E=100$ ГэВ за все время

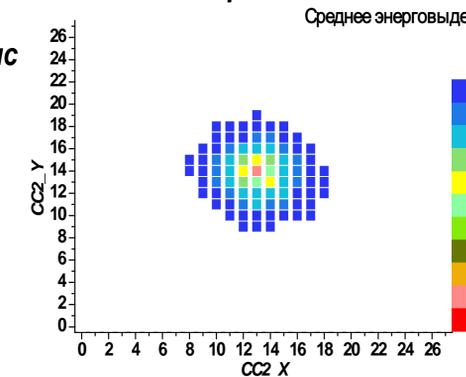


Рис 8. Энерговыделение для 10000 протонов с $E=100$ ГэВ за все время

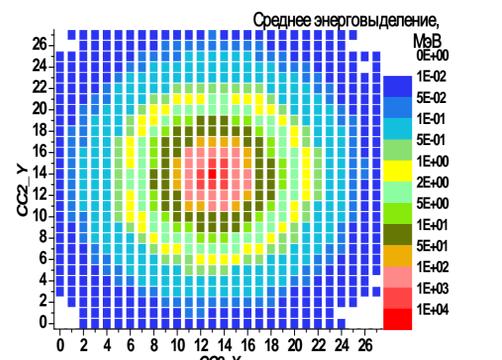


Рис 9. Среднее энерговыделение для 10000 γ -квантов с $E=100$ ГэВ за все время

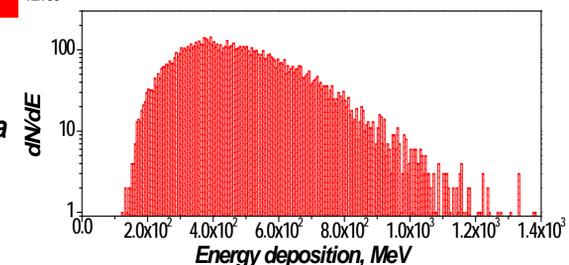


Рис 10. Энерговыделение для 10000 e^- с энергией 100 ГэВ, за все время

Комплекс научной аппаратуры "ГАММА-400" включает в себя [3]: двуслойные пластиковые антисовпадательные детекторы AC (верхний и боковые), сцинтилляционные детекторы времяпролетной системы S1 и S2, сцинтилляционные и боковые детекторы калориметра (соответственно S3, S4 и LD), позиционно-чувствительный калориметр CC1 из CsI(Tl) с двумя стриповыми слоями и секционированный электромагнитный калориметр CC2 на основе CsI(Tl), а также нейтронный детектор – см. рис. 1.

В "GEANT4" были заданы материалы для всех элементов, и была построена математическая модель "ГАММА-400". Эта модель (рис. 2) позволяет рассчитывать физические данные, как регистрируемые аппаратурой со всех детекторов, так и потери энергии во всех инженерных элементах.

Недостатком программного обеспечения для данной модели является повышенная требовательность к ресурсам персонального компьютера. Например, для симуляции прохождения 10000 электронов с $E=100$ ГэВ требуется

~6,9 ГБ оперативной памяти, а время выполнения на ядре процессора с частотой 3.4 ГГц занимает примерно 20 часов.

На рис. 3-6 показано энерговыделение в верхнем детекторе AC, в его нижнем и верхнем слое. Чтобы избавиться от обратного тока, события были разделены по времени. Все взаимодействия после 4 нс относятся к частицам обратного тока. В зависимости от электроники будет возможна установка другого временного порога.

На рис. 7-9 представлены графики среднего энерговыделения для 10000 событий для каждого кристалла CsI (Tl) в CC2.

Рис. 10 демонстрирует суммарное энерговыделение во всех подложках гамма-телескопа. Так как первичные частицы запускались над центром AC, то этот график демонстрирует максимально возможные потери, в виду того, что массивные крестообразные перегородки располагаются по центру и в них теряется большая часть энергии.

Заклучение
 Разработано программное обеспечение позволяющее быструю замену геометрии математической модели, в случае изменения конструкторского чертежа. Рассчитаны пороги для метода отделения первичных частиц от частиц обратного тока во времячувствительном антисовпадательном детекторе.

На основании данных, касающихся энерговыделения в подложках гамма-телескопа, мы можем утверждать, что вклад в энергетическое разрешение со стороны конструктивных элементов не будет превышать 1% в самом худшем случае (при прохождении частицы вдоль вертикальных стоек).

Литература.
 [1] А.М. Гальпер и др (2013) Пояснительная записка для части 12 ДЭП "Научный комплекс "ГАММА-400" Книга 1.
 [2] GEANT4 User's Guide for Application Developers <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/html/>
 [3] А.М. Гальпер и др. Создание научного комплекса "ГАММА-400"-ФИАН,2011. -86с.
 [4] Wiki "CADMesh" <http://www.code.google.com/p/cadmesh/wiki/html/>