

Комплекс программ для статистического моделирования электрон-фотонных ливней на основе библиотеки оцененных фотонных данных EPDL

И.И. Дегтярев, А.Е. Лоховицкий, О.А. Ляшенко
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Разработанный программный комплекс EPHTS (*Electron-Photon Transport Simulation Code System*) предназначен для расчета методом Монте-Карло развития электрон-фотонных ливней в гетерогенных объектах произвольной пространственной геометрии. Диапазон энергий фотонов 10 эВ–20 ТэВ, заряженных частиц 1 МэВ–20 ТэВ. В программе производится моделирование выхода фотонейтронов в реакциях (γ, n) , $(\gamma, 2n)$ и (γ, f) . При моделировании транспорта заряженных частиц учитывается толщина мишени. В комплексе использован универсальный геометрический модуль для детального описания пространственной геометрии и материального состава исследуемой системы. Программный комплекс может использоваться как независимо, так и в качестве составной части в программах расчета переноса многокомпонентного излучения методом Монте-Карло. В докладе приведены сопоставления результатов расчетов в рамках данного комплекса и по программе EGS4.

Введение

В подавляющем большинстве широко используемых в настоящее время программ расчета переноса излучения в веществе методом Монте-Карло, как правило, прослеживаются два направления представления константного обеспечения:

- 1) параметризация коэффициентов взаимодействия;
- 2) использование групповых константных систем.

Иным, достаточно редко реализуемым [1,2] подходом является использование константного обеспечения, содержащегося в библиотеках оцененных ядерных данных напрямую, без их предварительной переработки (исключая преобразование форматов записей) с использованием рекомендованных схем интерполяции табличных значений. Ранее развитие данного подхода сдерживалось ограниченными ресурсами ЭВМ. Значительная затратность исключала программы, построенные по этому принципу, из практики проведения рутинных расчетов. Только в последнее время с появлением мощных компьютеров стали доступными массовые вычисления по программам такого типа.

1. Схема организации и расчетные возможности комплекса EPHTS

Моделирование процессов взаимодействия фотонов в комплексе EPHTS в диапазоне энергий 10 эВ–100 ГэВ основывается на оцененных данных библиотеки EPDL [3], содержащей микросечения основных процессов и атомные формфакторы когерентного и некогерентного рассеяний γ -излучения. В диапазоне энергий 100 ГэВ–20 ТэВ используются стандартные аппроксимации сечений из пакета GEANT [4].

В комплексе производится моделирование следующих процессов взаимодействия фотонов:

- фотоэффекта,
- когерентного (релеевского) рассеяния,
- некогерентного (комптоновского) рассеяния,
- рождения пар,
- фотоядерного эффекта;

и заряженных частиц:

- тормозного излучения,
- аннигиляции позитрона (одно-, двухфотонной),
- позитрон-электронного рассеяния,
- электрон-электронного рассеяния,
- образования δ -электронов.

Для моделирования траекторий заряженных частиц в комплексе используется метод группировки процессов с малой передачей импульса. Катастрофические столкновения, т.е. столкновения, приводящие к появлению вторичных частиц, моделируются дискретно. Моделирование транспорта электронов и позитронов производится раздельно.

Полное сечение катастрофических радиационных взаимодействий рассчитывается интегрированием дифференциального сечения Бете-Гайтлера с учетом кулоновской поправки, поправки Элверта для электронов низких энергий и дифференциального сечения Мигдала в области сверхвысоких энергий.

В комплексе использован построенный по комбинаторной (рекурсивной) схеме универсальный геометрический модуль, позволяющий предельно реалистично описывать геометрии гетерогенных пространственных объектов и осуществляющий:

- 1) обработку массивов данных для описания геометрии и материальной структуры объекта, считанных процедурой FreeFormat [6] (синтаксическим анализатором входного потока), с их оптимальным размещением в оперативной памяти ЭВМ;
- 2) динамическое управление резервированием оперативной памяти в процессе производства расчетов;
- 3) сохранение характеристик траекторий частиц;
- 4) вычисление объемов геометрических зон;
- 5) вывод массивов расчетной информации по каждой зоне объекта.

В процессе построения траекторий заряженных частиц производится моделирование флуктуаций пробегов и ионизационных потерь на транспортном шаге выборкой из распределений Гаусса, Вавилова и Ландау. Производится моделирование рождения и транспорта нейтронов, рождающихся в реакциях (γ, n) , $(\gamma, 2n)$ и (γ, f) , в диапазоне энергий фотоядерного резонанса.

В комплексе использован ряд алгоритмов выборок, реализованных в процедурах библиотеки GEANT 3.21. Выбор пакета GEANT за основу обусловлен его следующими достоинствами:

- 1) наличием многократно проверенных и хорошо зарекомендовавших себя в предшествующей расчетной практике процедур;
- 2) достаточно подробным сопровождением и постоянной поддержкой.

В комплексе предусмотрена возможность включения в расчет дополнительных функционалов поля излучения, типа используемой оценки, нестандартных источников излучения, организованная посредством пользовательских процедур.

Эффективность реализованных в комплексе алгоритмов выборок не ниже 0.7.

Комплекс обладает хорошим уровнем эксплуатационного сервиса.

2. Анализ результатов некоторых тестовых расчетов

На рис. 1-2 представлено сравнение результатов тестовых расчетов параметров ливней, инициированных первичным электроном энергии 30; 70 ГэВ в стальном и алюминиевом блоках цилиндрической геометрии, выполненных по программе EGS4 [5], с расчетами по комплексу EPHTS. Хорошее согласие результатов расчета (погрешность расчета интегральных характеристик $\sim 10\%$) демонстрирует достаточную надежность комплекса.

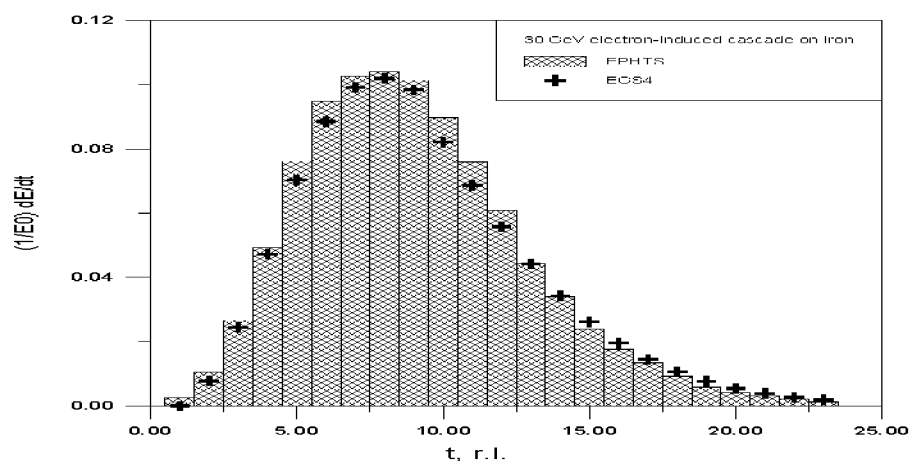


Рис. 1: Энерговывделение (в долях энергии первичной частицы) на единице радиационной длины каскада, инициированного электроном энергии $E=30$ ГэВ в стальном блоке.

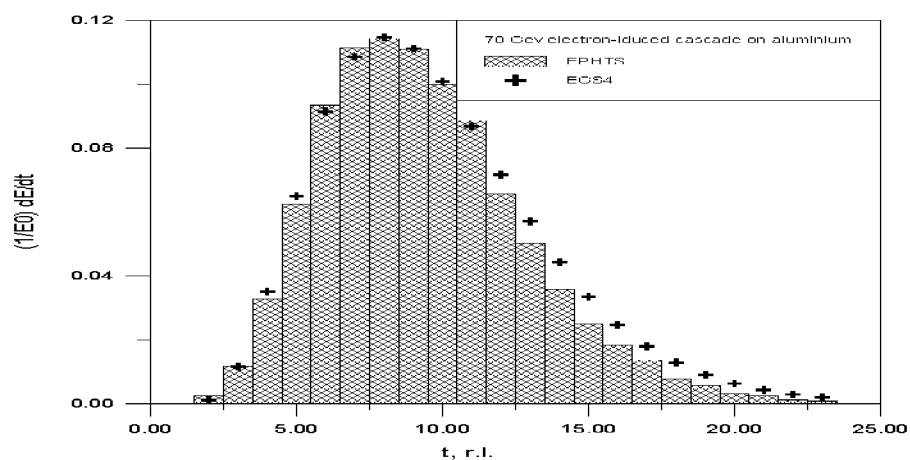


Рис. 2: Энерговывделение (в долях энергии первичной частицы) на единице радиационной длины каскада, инициированного электроном энергии $E=70$ ГэВ в алюминиевом блоке.

Список литературы

- [1] Lasl Group TD-6. MCNP - A General Monte Carlo Code for Neutron and Photon Transport.-LA-7396-M, Los Alamos Scientific Laboratory, 1968.
- [2] П.А.Андросенко, А.А.Андросенко, Г.В.Болонкина, С.И.Дубровина, А.С.Кривцов. Опыт прямого использования библиотеки ENDF-B/VI в расчетах методом Монте-Карло. — В сб.: VI Российская научная конференция по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок. — Обнинск, 1994.
- [3] D.E.Cullen, M.N.Chen, J.H.Hubbel, S.T.Perkins, E.F.Plechaty, J.A.Rathkopf and J.H.Scofield. Tables and Graphs of Rhoton-Interaction Cross Section from 10 eV to 100 GeV Derived from the LLNL Evaluated Photon Data Library (EPDL). UCRL-50400, vol.6, Lawrence Livermore National Laboratory, 1989.
- [4] CERN Program Library Long Writeup W5013, Copyright CERN. — Geneva, 1993.
- [5] W.R.Nelson, H.Hirayama, and D.W.O.Rogers. "The EGS4 Code System", SLAC-265, Stanford Linear Accelerator Center (1985).
- [6] И.И.Дегтярев, В.В.Комарова, А.Е.Лоховицкий, М.А.Маслов, И.А.Язынин. Система считывания и обработки групп данных в свободном формате записи FreeFormat. Свидетельство Российского агентства по правовой охране программ для ЭВМ, баз данных и топологий интегральных микросхем (РосАПО), 1995.