

Статус пакета программ MARS

И.Л. Ажгирей, В.В. Таланов

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Разработанный в ИФВЭ пакет программ MARS предназначен для моделирования ядерно-электромагнитных каскадов и транспорта вторичных нейтронов и мюонов в гетерогенной среде произвольной сложности в присутствии магнитных полей. В пакете реализован инклюзивный подход к описанию рождения частиц в ядерных и электромагнитных взаимодействиях и при распадах нестабильных частиц. За время, прошедшее с момента предыдущей публикации [1], пакет программ MARS активно применялся для решения радиационно-физических задач по:

- оптимизации радиационных и фоновых условий проведения экспериментов CMS [2, 3, 4, 5], LHCb [6, 7, 8, 9] и ATLAS [10, 11] на сооружаемом в ЦЕРН коллайдере LHC [12] и эксперимента NuMI [13] во ФНАЛ;
- исследованию радиационного воздействия и проектированию защиты элементов сверхпроводящего ускорителя LHC [14, 15, 16, 17, 18];
- оптимизации радиологического воздействия ускорителя LHC на окружающую среду [19];
- изучению распространения космического излучения в атмосфере Земли [20];
- верификации пакета с использованием экспериментальных данных и результатов расчетов по другим программам [21, 22, 23].

Актуальным приложением пакета программ MARS является анализ эффективности защиты от ионизирующих излучений проектируемых экспериментов физики высоких энергий. Одним из примеров является ведущаяся в ИФВЭ разработка проекта мобильной передней защиты эксперимента CMS на LHC. От эффективности передней защиты зависит целый ряд систем детектора CMS, в то же время положение передней защиты в экспериментальном зале накладывает ограничения на возможный максимальный размер и вес частей защиты и на сценарий их перемещения. Все это диктует необходимость создания конструкции как механически надежной, так и эффективной с точки зрения защиты от излучения [24].

С помощью пакета программ MARS было выполнено сравнительное исследование эффективности модельныхборок различных защитных материалов, предполагаемых к использованию в проекте. Каждая модельная сборка представляла собой цилиндр длиной 2 м, состоящий до 40 см по радиусу из слоя стали, за которым до 100 см по радиусу следовал слой защитного материала. Вся сборка была заключена в цилиндрическую оболочку из стандартного полиэтилена толщиной 10 см. Расчеты составляли оценку радиальных распределений плотностей потоков вторичных частиц, инициированных протоном с импульсом 10 ГэВ/с, падающим по нормали в центр сборки. Расчеты были выполнены со значением порога 10 МэВ по кинетической энергии для адронов, 100 кэВ — для γ -квантов и электронов, и 10^{-5} эВ — для нейтронов.

Полученные результаты расчетов радиальных плотностей потоков нейтронов, усредненных по области сборки 50÷100 см, представлены на рис. 1. В качестве защитного материала была рассмотрена сталь (сплошная линия), тяжелый бетон с плотностью 3.673 г/см³ (тире) и стандартный бетон с плотностью 2.35 г/см³ (точки). Параллельно независимой группой в ЦЕРН были выполнены аналогичные расчеты для тех же модельныхборок материалов, но с использованием программы FLUKA99 [25]. Результаты, полученные группой ЦЕРН, даны на

том же рисунке треугольниками, ромбами и окружностями. Как можно видеть, для всех трех исследованных конфигураций защитных материалов обе программы дают согласованные как абсолютные значения плотностей потоков нейтронов, так и радиальное ослабление потока вторичных частиц в зависимости от радиуса сборки. Результаты расчетов, выполненных по двум независимым программам, позволяют с большой долей уверенности использовать полученные оценки для выбора материалов передней защиты.

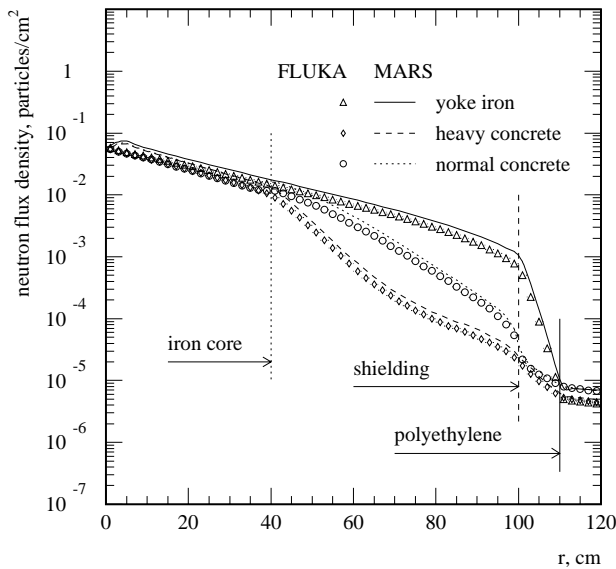


Рис. 1: Расчет плотности потока нейтронов для модельныхборок защитных материалов.

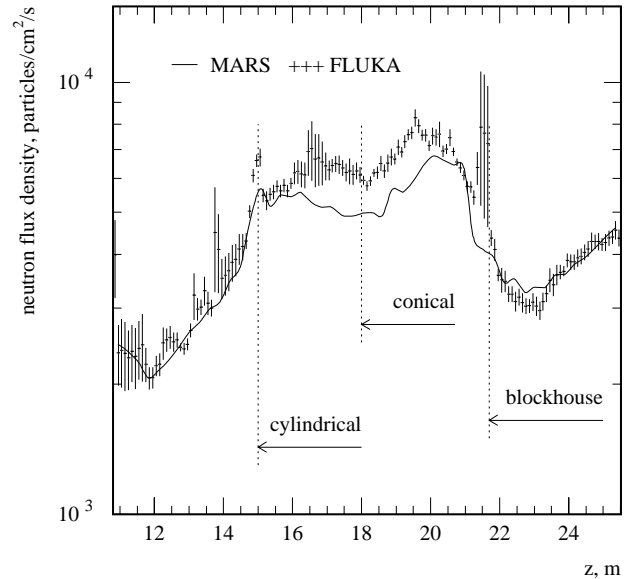


Рис. 2: Рассчитанные по программам MARS и FLUKA распределения плотности потока нейтронов на радиусе 3 м вокруг передней защиты эксперимента CMS.

В рамках работ по подготовке инженерного проекта передней защиты [26] был проведен анализ формирования поля вторичного излучения в торцевой части детектора CMS. Для розыгрыша характеристик частиц, рождающихся в точке встреч эксперимента CMS в протон–протонном взаимодействии при энергии 14 ТэВ в с.д.м. был использован генератор DPMJET II [27]. С помощью пакета программ MARS было осуществлено моделирование вторичных ядерно–электромагнитных каскадов и описание транспорта низкоэнергетических нейтронов в полной геометрии детектора с теми же значениями порогов по кинетической энергии, что и для модельной сборки защиты.

Результаты расчета по программе MARS продольного распределения плотности нейтронов на радиусе 3 м вокруг передней защиты CMS для номинальной светимости эксперимента $10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ приведены на рис. 2 (сплошная линия). Для сравнения там же приведены аналогичные результаты, независимо полученные в ЦЕРН с использованием программы FLUKA99. Как можно видеть, в областях, имеющих достаточно простую геометрию, а именно перед цилиндрической частью защиты и в области блиндажа результаты расчетов по обоим программам, несмотря на все многообразие и сложность моделируемых физических процессов в рассматриваемом широком диапазоне энергий, находятся в хорошем согласии. В области цилиндрической и конической частей защиты согласие может быть признано удовлетворительным. Имеющееся в продольном распределении расхождение между результатами, даваемыми программами моделирования, объясняется доминированием в поле вторичного излучения в этой области частиц, проникающих в экспериментальный зал через стыки в конструкции передней защиты. Именно различие в подходах к представлению геометрии в двух программах (так называемый

геометрический фактор) обуславливает различие в описании конфигурации участков сопряжения частей защиты, что и приводит к разнице в результатах моделирования для случая сложной геометрии детектора CMS, в отличие от описанной выше модельной сборки защитных материалов.

Проведенное для инженерного проекта передней защиты CMS сравнение результатов расчетов, полученных по двум независимым программам, позволяет не только обосновать выбор в пользу того или иного материала при конструировании защиты от излучений. Данное сравнение также демонстрирует высокую конкурентоспособность инклюзивных алгоритмов моделирования адронных каскадов, используемых в пакете программ MARS, в сравнении с другими признанными программами моделирования переноса излучения в веществе.

Список литературы

- [1] Ажгирей И.Л., Курочкин И.А., Таланов В.В. *Развитие комплекса программ MARS для решения радиационных проблем ядерно-технических установок*. В кн.: Труды 15-го рабочего совещания по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 22–24 октября 1996.
- [2] The CMS Collaboration. *Hadron Calorimeter TDR*. CERN/LHCC 97–31, p.8, CERN, 1997.
- [3] The CMS Collaboration. *Electromagnetic Calorimeter TDR*. CERN/LHCC 97–33, p.339, CERN, 1997.
- [4] The CMS Collaboration. *Muon TDR*. CERN/LHCC 97–32, p.397, CERN, 1997.
- [5] M. Huhtinen et al. *Conceptual design and performance of the CMS Forward Shielding*, CERN CMS IN 2000/051.
- [6] The LHCb Collaboration. *Technical Proposal*. CERN/LHCC 98-4 LHCC/P4, CERN, 1998.
- [7] Talanov V. *Radiation environment at the LHCb vertex detector area*. CERN LHCb 98–019, CERN, 1998.
- [8] Gac R. le, Talanov V. and Tsaregorodtsev A. *Particle fluxes in the LHCb muon system — comparison of GCALOR and MARS calculations*. CERN LHCb 99–036, CERN, 1999.
- [9] Talanov V. *Radiation environment at the LHCb inner tracker area*. CERN LHCb 2000–013, CERN, 2000.
- [10] M.Cobal. *Summary of the activity of the radiation and shielding working group*, CERN ATLAS Note ATL-TECH-98-034, 1998.
- [11] ATLAS Collaboration. *ATLAS Technical Coordination TDR*, CERN/LHCC/99–08, p.365, 1998.
- [12] The LHC Study Group. *LHC Conceptual Design*. CERN/AC/95–05 (LHC) (1995).
- [13] А.Г. Абрамов и др. *Нейтронный пучок с узким энергетическим спектром для проекта NuMI*, Материалы XVI совещания по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 1998.
- [14] I.L. Azhgirey et al. *Cascade simulations for the betatron cleaning insertion*, CERN LHC Project Note 121, 1997.
- [15] I.L. Azhgirey et al. *Cascades simulation for the LHC betatron cleaning insertion*, CERN LHC Project Report 184, 1998; EPAC'98 Report, Stockholm, 22.06.98.

- [16] I. Azhgirey, I. Baishev, J.B. Jeanneret. *Energy deposition calculations for the betatron cleaning insertion of the LHC*, CERN LHC Project Note 171, 1998.
- [17] I. Baishev, A. Barsukov, J.B. Jeanneret. *Radiation heating of primary collimators at ramping*, CERN LHC Project Report 309, 1999.
- [18] I. Ajguirei, I. Baichev, J.B. Jeanneret. *Beam losses downstream of the high luminosity interaction points of LHC*, in: Proc. of EPAC'2000, Vienna, Austria, p.355.
- [19] I. Azhgirey et al. *Radiation studies of the LHC betatron scraping region at Point 7*, CERN Internal Report CERN/TIS-RP/IR/99-01, 1999.
- [20] I. Kurochkin, B. Wiegel, B.R.L. Siebert. *Study of radiation environment caused by galactic cosmic rays at flight altitudes, at the summit of Zugspitze and at PTB*, Rad. Prot. Dosimetry v.83 (1999) p.281.
- [21] Azhgirey I.L. et al. *Calculation of high energy spectra at the CERN-CEC reference field facility by the MARS'95 and HADRON codes*, IHEP Preprint 97-19, Protvino, 1997; Nucl. Instr. and Meth. A 408 (1998) p.535.
- [22] V. Belyakov-Bodin et al., *Benchmark experiment with tungsten target bombarded by medium energy protons*, in: Proc. of Int. Conference on Future Nuclear Systems GLOBAL'97, Oct. 1997, Yokohama, Japan, Vol.1, p.446.
- [23] И.Л.Ажгирей, И.А.Курочкин, В.И.Беляков-Бодин, *Моделирование продольного распределения энерговыделения в протяженных мишенях, облучаемых протонами средних энергий*, Тезисы VII Российской научной конф. по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок, с.349, Обнинск, 1998; *Моделирование облучения вольфрамовой мишени пучком протонов средних энергий*, там же, с.350.
- [24] Ажгирей И.Л. и Таланов В.В. *Моделирование формирования поля излучения за передней защитой эксперимента CMS на LHC. Исследование эффективности инженерного проекта защиты*. Препринт ИФВЭ 2000-37, Протвино, 2000.
- [25] Fassò A. et al. In: Proc. of 3rd SARE Workshop, KEK Proceedings 97-5, KEK, 1997.
- [26] *Engineering Design Review of Forward Shielding System*. CERN/CMS-GM-RR-0009 INFR-EDR-001, CERN, 1999.
- [27] Ranft J. CERN/TIS-RP/97-05.