

УДК 539.1.074.3

РАСЧЕТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ФТОРИДНЫЕ СТЕКЛА В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ КАЛОРИМЕТРЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Е. Г. Девицин, В. А. Козлов, С. Ю. Поташов

Представлены результаты моделирования электромагнитных ливней во фторидных стеклах с целью получения распределения поглощенной дозы по глубине calorиметра. Полученные результаты сравниваются с характеристиками имеющихся образцов фторидного стекла.

В настоящее время для электромагнитного (ЭМ) calorиметра установки CMS (компактный мюонный соленоид) (LHC, CERN) предложено четыре различных варианта: гомогенные на основе кристаллов $PbWO_4$, CeF_3 и фторидного стекла, а также многослойный свинцово-сцинтилляционный. Вариант, в котором модуль представляет собой стопу пластин фторидного стекла, имеет заметное преимущество по сравнению с кристаллами, так как стекла могут быть значительно дешевле.

В настоящей работе представлены результаты расчетов методом Монте – Карло (МК) распределений дозы поглощенной радиации в направлении продольной оси электромагнитного ливня, развивающегося в таких модулях. Результаты будут использованы в дальнейших расчетах этим методом для моделирования влияния радиационных повреждений на энергетическое разрешение calorиметра. Из расчетов также следует, что часть пластин может иметь меньшую радиационную стойкость, исходя из неравномерного распределения дозы вдоль оси модуля (стопы пластин), что может привести к дальнейшему удешевлению calorиметра. Проводится обсуждение полученных результатов в свете характеристик стекол, достигнутых на сегодняшний день.

Основной задачей проектируемой установки CMS на ускорителе LHC (CERN) является изучение механизма спонтанного нарушения симметрии в электрослабом секторе

стандартной модели. Многие из рассматриваемых состояний распадаются на заряженные лептоны и фотоны, для регистрации которых требуется электромагнитный калориметр. Низкие сечения изучаемых процессов и высокий уровень фона требует огромной светимости ускорителя ($L \approx 10^{34} \text{ c}^{-1} \text{ cm}^{-2}$), что влечет за собой напряженные радиационные условия и жесткие требования к радиационной стойкости применяемых материалов.

В работе [1] получены цифры для нейтронных потоков и доз ионизирующего излучения для различных конфигураций установки на LHC. Для конкретной конфигурации установки CMS результаты расчетов представлены в табл. 1 [2] для области электромагнитного калориметра и различных значений псевдобыстроты η .

Т а б л и ц а 1

Доза, поглощенная в калориметре в максимуме ЭМ ливня за 10 лет работы установки

η	0,0 – 1,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	2,0 – 2,6
Доза, Мрад	0,35	0,40	1,0	4,0

Для получения распределения дозы радиации вдоль продольной оси ливня использовался метод МК с применением программы GEANT [3]. На цилиндр из фторидного стекла радиусом 5 и длиной 20 радиационных длин ($X_0 = 1,51 \text{ см}$) падал равномерный в поперечном направлении пучок фотонов, имеющих энергетический спектр радиационного фона, характерный для CMS [4]. На рис. 1 изображено распределение полной поглощенной энергии вдоль продольной оси ливня для фторидного стекла. Исходя из потока падающих частиц [4], сделан пересчет на дозу, поглощенную слоем стекла толщиной $(1/2)X_0$. На рис. 2 даны профили дозы, накопленной за 10 лет работы ускорителя для различных η в цилиндрической части спектрометра ЭМ калориметра, где планируется применение фторидного стекла ($\eta \leq 1,7$).

Из рис. 2 видно, что максимум дозы смещается в сторону более глубоких слоев при возрастании η ввиду увеличения жесткости спектра падающих фотонов. При этом для $\eta = 0,0 - 1,4$ он находится в районе $3,5 - 4,0 X_0$ и не превышает 500 крад за 10 лет, а для глубин, превышающих $10 - 12 X_0$, он не более 100 крад . Для края баггел-области ($\eta = 1,7$) максимум дозы находится в районе $5 X_0$ и равен 1 Мрад , в то время как доза менее 100 крад достигается на глубинах $14 - 15 X_0$. Сцинтиллирующие фторидные стекла на основе HfF_4 , впервые полученные в результате совместных работ Физического

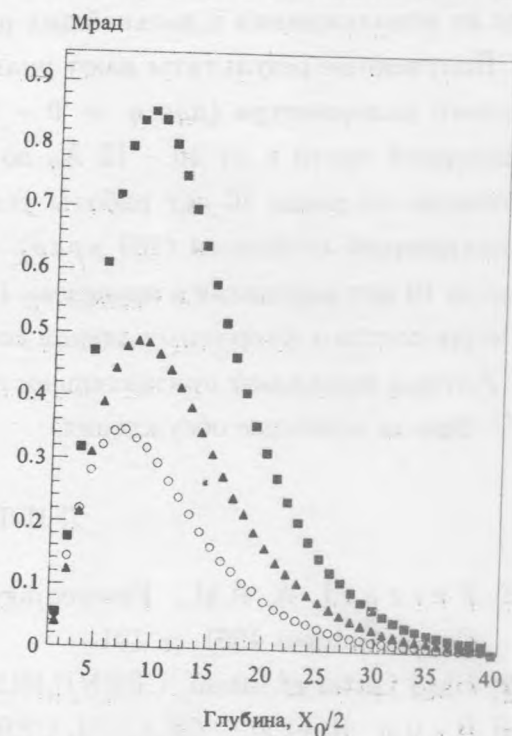
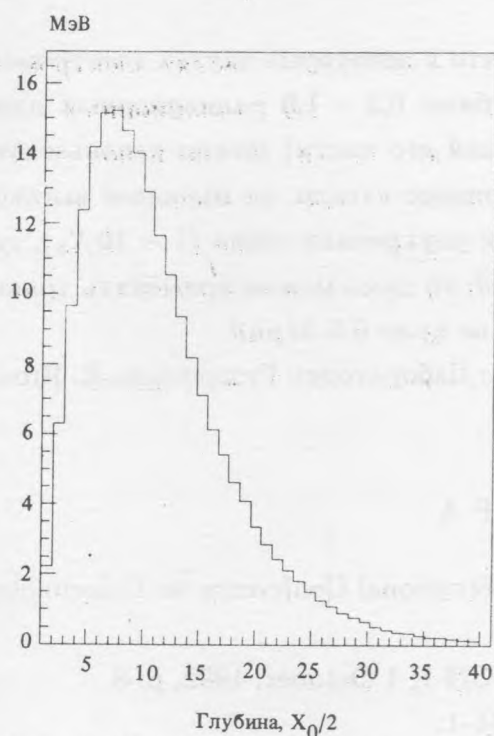


Рис. 1. Продольный профиль энерговыделения в ЭМ ливне для $\eta = 0$ ($X_0 = 1,51$ см).

Рис. 2. Продольный профиль дозы, поглощенной за 10 лет работы установки для $\eta = 0,0$ (o), $\eta = 1,4$ (Δ) и $\eta = 1,7$ (\blacksquare).

института им. П. Н. Лебедева и Института общей физики РАН [5, 6], были предложены в качестве радиаторов ЭМ калориметра на ускорителях нового поколения как альтернатива кристаллам из CeF_3 с целью уменьшения стоимости [6]. Радиационная стойкость фторидных стекол – около 100 *крад*, что позволит использовать их для соответствующих слоев радиатора, набранного из пластин. В настоящее время ведется активный поиск более радиационно-стойких стекол путем введения в них различных добавок (*In*, *Yb* и др.) в совместной работе ФИАН, ИОФАН и Лаборатории Резерфорда (Великобритания). Пока (март 1994) максимальная стойкость, показанная образцом объемом 1 $см^3$, составляет около 0,5 *Мрад*.

В дальнейшем будет проведено моделирование методом МК с целью выявления влияния радиационных повреждений, полученных в результате облучения ЭМ калориметра на установке CMS, на его энергетическое разрешение. Будет учтено ухудшение пропускания сцинтилляционного света по слоям в зависимости от дозы, а также спектральный отклик ФЭУ. Настоящие расчеты дают указание на величины дозы, которыми необходимо облучить образцы фторидного стекла для получения кривых светопропускания

для их использования в дальнейших расчетах.

Полученные результаты дают указание на то, что в некоторых частях электромагнитного калориметра (для $\eta = 0 - 1,4$ и по глубине: $0,5 - 1,0$ радиационных длин в передней части и от $10 - 12 X_0$ до конца в задней его части) можно использовать в течение не менее 10 лет работы установки фторидное стекло, не имеющее высокой радиационной стойкости (100 крад). Что касается внутренних слоев ($1 - 10 X_0$), где доза за 10 лет находится в пределах $100 - 500 \text{ крад}$, то здесь можно применять только лучшие составы фторидных стекол со стойкостью не хуже $0,5 \text{ Mrad}$.

Авторы выражают признательность коллегам из Лаборатории Резерфорда R. Brown и C. Seez за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ferrari A. et al., Proceedings of the II International Conference on Calorimetry, Capri, October 1991, p. 101.
- [2] CMS Letter of Intent, CERN/LHCC 92-3, LHCC/I 1, 1 October, 1992, p. 8.
- [3] Brun R. et al., GEANT3, CERN/DD/EE/84-1.
- [4] Seez C., частное сообщение.
- [5] Devitsin E. G. et al., Lebedev Physical Inst., Preprint N 25, Moscow, 1992.
- [6] Devitsin E. G. et al., CRYSTAL 2000 Proceedings, Chamonix, Sept. 1992, p. 401.

Поступила в редакцию 6 апреля 1994 г.